SCIENTIFIC DISCUSSION

VOL 1, No 111, (2026)

Scientific discussion
(Praha, Czech Republic)

ISSN 3041-4245

The journal is registered and published in Czech Republic.
Articles are accepted each month.
Frequency: 12 issues per year.
Format - A4
All articles are reviewed
Free access to the electronic version of journal

- **Chief editor**: Zbyněk Liška
- **Managing editor**: Štěpán Kašpar
- Leoš Vaněk (Prague, Czech Republic)
- Jarmila Procházková (Prague, Czech Republic)
- Hugues Bernard (Vienna, Austria)
- Philip Brinkerhoff (Cologne, Germany)
- Zofia Jakubowska (Warsaw, Poland)
- Łukasz Woźniak (Warsaw, Poland)
- Petr Novikov — (Bremen, Germany)
- Daniel Skvortsov — (Salzburg, Austria)
- Lyudmila Zhdannikova — (Kyiv, Ukraine)

Edition of journal does not carry responsibility for the materials published in a journal.
Sending the article to the editorial the author confirms it's uniqueness and takes full responsibility for possible consequences for breaking copyright laws

«Scientific discussion»
Editorial board address: Korunní 1151/67, 130 00 Praha 3-Vinohrady
E-mail: info@scientific-discussion.com
Web: www.scientific-discussion.com

CONTENT

SECTION OF EARTH SCIENCES

Aitmakhanov B., Soltabayeva S.
STUDY OF LAND COVER BASED ON REMOTE SENSING DATA - THE CASE OF KYZYLORDA REGION 4

Kanatbayev A., Tursbekov S.
ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF GEODESIC SUPPORT FOR CONSTRUCTION.....7

Kussainov A., Soltabayeva S.
A ANALYSIS OF THE CONSEQUENCES OF PERFORMING GEODETIC WORK WITH AN UNCALIBRATED INSTRUMENT: PRACTICAL CASE.....11

Kogai I., Ormambekova A.
SELECTING A METHOD FOR TRANSFORMING GEODETIC COORDINATES DEPENDING ON THE CONDITIONS OF THE PROBLEM 17

Mirsidikov Sh., Ormanbekova A.
METHODOLOGY FOR CALCULATING THE VOLUMES OF ASPHALT PAVEMENT OF ROADS BASED ON UAV PHOTOGRAMMETRY DATA 22

Rakhadilova A., Nurpeissova M.
INCREASING THE PRODUCTIVITY OF AGRICULTURAL LANDS BASED 26

Sakenova S.S., Yerzhankyzy A.
REDUCTION IN AIR VENTILATION AS A FACTOR IN THE DETERIORATION OF ATMOSPHERIC AIR QUALITY IN THE CITY OF ALMATY 31

Serik A., Aitkazinova Sh.
STUDY OF THE PROCESS OF GROUND SURFACE SUBSIDENCE IN MINING AREAS 34

Sultankhamitova A., Kozhaev Zh.
DIGITAL TWINS OF ENERGY FACILITIES: A CONCEPT FOR THE APPLICATION OF GNSS AND UAVS 37

Turekhan B., Nurpeissova M.
MONITORING AND FORECASTING FLOOD RISK IN THE ILE ALATAU REGION 41

Kenesbayeva A., Kurmanbayev O., Kurmanbayev R.
METHODOLOGY FOR PREDICTING TECHNOGENIC LAND SUBSIDENCE 45

Alekpayev S., Madimarova G.
STUDY OF GEOLOGICAL AND GEOMECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE KARATAU PHOSPHORITE DEPOSITS 50

Zhakypbek Y., Adilgeryeva A.
MONITORING THE TEMPORAL DYNAMICS OF THE KAPCHAGAY RESERVOIR USING GEOSPATIAL AND STATISTICAL DATA 54

Atabek A., Kyrgyzbayeva D.
GEODETIC MONITORING OF AGRICULTURAL LANDS USING GIS AND REMOTE SENSING TECHNOLOGIES..60

Barakbayeva A., Soltabayeva S.
GIS-BASED COMPARATIVE ANALYSIS OF NDVI FOR AGRICULTURAL LAND MONITORING IN THE ALMATY REGION FOR 2020 – 2023.....65

Begalieva M., Soltabayeva S.
DEVELOPMENT OF A GIS FOR THE SEMEY TEST SITE 68

Duisenbayeva A., Meirambek G.
CREATION AND PREPARATION OF AS-BUILT SURVEYS FOR REGISTRATION IN THE STATE URBAN CADASTRE SYSTEM BASED ON GIS TECHNOLOGIES.....72

Zhaksygulova D., Erzhankyzy A.
MONITORING THE ENVIRONMENTAL STATE OF THE CASPIAN SEA BASED ON THE CALCULATION OF SATELLITE SPECTRAL INDICES.....76

Zhumabek A., Usipbayev N., Erdaninova D.
ANALYSIS OF CURRENT ISSUES OF LAND DEVELOPMENT AND PLANNING IN SUBURBAN AREAS OF ALMATY.....81

Zhumakhanov A., Kozhaev Zh.
COMPREHENSIVE STUDY OF DEFORMATION CHANGES IN ENGINEERING STRUCTURES WITHIN THE METRO AREA USING GNSS AND SATELLITE DATA.....85

SECTION OF HUMANITIES AND PHILOLOGY

Apashova A., Oralbekova A., Kalimoldayeva A.
PROBLEMS OF INCLUSIVE EDUCATION IN KAZAKHSTAN: CURRENT STATE, BARRIERS, AND DIRECTIONS FOR DEVELOPMENT.....89

Bulgantamir Damchaa,, Dalaisaikhan Natsagdorj
EXAMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN DIGITAL COMPETENCE AND ENGLISH LANGUAGE PROFICIENCY AMONG UNIVERSITY STUDENTS 97

Musina N., Pozdnyakova V.
MODERN METHODS OF TEACHING PROFESSIONAL ENGLISH TO STUDENTS OF NON-LINGUISTIC SPECIALTIES 104

SECTION OF SOCIAL AND ECONOMIC SCIENCES

Gnatiuk T.
METHODOLOGICAL APPROACHES TO ASSESSING THE LEVEL OF KNOWLEDGE ECONOMY DEVELOPMENT IN UKRAINIAN REGIONS BASED ON INDICATORS AND INDICES.....108

Levandivskyi O.
LOCAL BUDGETS IN THE SYSTEM OF FINANCIAL SUPPORT FOR TERRITORIAL COMMUNITY DEVELOPMENT.....112

Zvarych O.
GREEN ECONOMY OF UKRAINE'S REGIONS IN THE CONTEXT OF EUROPEAN INTEGRATION: ADAPTATION MECHANISMS AND STRATEGIC PRIORITIES 117

SECTION OF EARTH SCIENCES

ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ ДЕРЕКТЕРІ НЕГІЗІНДЕ ЖЕР ЖАМЫЛҒЫСЫН ЗЕРТТЕУ-ҚЫЗЫЛОРДА ОБЛЫСЫ МЫСАЛЫНДА

Айтмаханов Б.М.
магистрант, Satbaye University, Алматы, Казахстан
Солтабаева С.Т.
т. ғ.к, профессор, Satbayev University, Алматы, Казахстан

STUDY OF LAND COVER BASED ON REMOTE SENSING DATA - THE CASE OF KYZYLORDA REGION

Aitmakhanov B.
Master's Student, Satbaye University, Almaty, Kazakhstan
Soltabayeva S.
Professor, candidate of technical science Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.20151976

Аңдатпа

Мақалада жер жамылғысының құрылымын зерттеу барысында қашықтықтан зондтау технологияларын қолданудың ғылыми негіздері қарастырыла отырып, қазіргі таңда өзектілікке ие болып отырған топырақтың тозуы, жер ресурстарының дегредацияға ұшырауы сияқты айқын мәселелер талданды.

Abstract

The article examines the scientific foundations of using remote sensing technologies in studying the structure of land cover. It also analyzes pressing issues such as soil degradation and land resource deterioration that are currently of high relevance.

Түйінді сөздер: қашықтан зондтау, спутниктік суреттер, жер жамылғысы, геоақпараттық жүйе (ГАЖ).
Keywords: remote sensing, satellite imagery, land cover, geographic information system (GIS).

Кіріспе. Бүгінгі таңда табиғи ресурстарды зерттеу және оларды тиімді пайдалану мәселелері жер ресурстары ғылым саласында маңызды бағыттардың бірі болып табылады. Әсіресе жер жамылғысының жағдайын толыққанды бақылау және оның өзгерістерін анықтау экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етуде үлкен рөл атқарушы фактор. Жер жамылғысы табиғи ортаның маңызды құрамдас бөлігі болып табылып қана қоймай, ол климаттық жағдайларға, географиялық ерекшеліктерге және антропогендік факторларға тікелей тәуелді. Осы тұста еліміздің оңтүстік бөлігінде орналасқан Қызылорда облысы жер ресурстарын мониторингтеу барысында айтарлықтай үлкен мәселермен бетпе-бет келіп отыр (1-сурет).

Сурет 1 – Зерттеу аймағы Қызылорда облысы

Бұл өзгерістерді зерттеу ауыл шаруашылығы, орман шаруашылығы жәнеде экологиялық мониторинг салаларында маңызды ақпарат беретін болады. Дегенмен үлкен аумақтарды дәстүрлі әдістер арқылы зерттеу көп уақыт пен еңбек ресурстарын талап етері сөзсіз. Осы тұста заман талабына сай Жасанды Интеллект құралдарын қолданудың өзі айтарлықтай үлкен аумақтардағы деректерді өңдеу мен мониторинг жұмыстарын талдауға септігін тигізе алады. Аймақта таралған құрғақ континенттік

климатпен сәйкес өсімдік жамылғысыныңда, ауыл шаруашылығы саласы үшінде негізгі ресурс топырақ үшін жасалатын зерттеулердің мәні зор болып отыр [1].

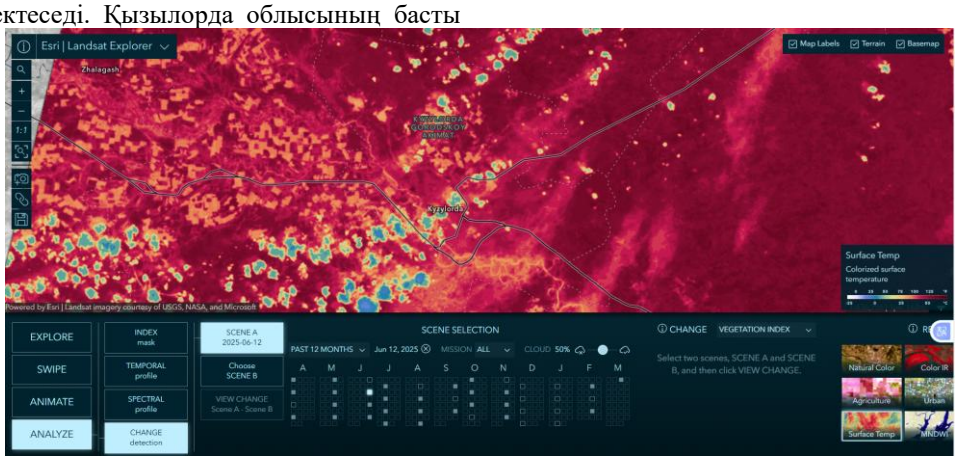
Зерттеудің өзектілігі. Ғылым мен технологияның дамуына байланысты жер жамылғысы, топырақ қабаттарын зерттеуде қашықтықтан зондтау әдістері кеңінен қолданысқа еніп келеді. Бұл әдістер жер бетінің жағдайы туралы кеңістікті деректерді спутниктер арқылы алуға мүмкіндік береді. Жыл санап климатта орын алып отырған өзгерістер жер бетіне қай салаға болмасын өз әсерін тигізіп қоймай, алдын-алу шараларын іске асыруға әкелетіндігін ескерген жөн.

Зерттеу нысаны мен әдістемесі. Зерттеу жұмыстарын жүргізу нысыны Қызылорда облысы. Еліміздің бұл өңірінде шөл және шөлейт ландшафттар кең тараған [2]. Жер жамылғысын зерттеу және оның өзгерістерін анықтау аймақтың экологиялық және экономикалық дамуы үшін маңызды болып табылады.

Нәтижелер. Геоақпараттық жүйелерде кеңістіктік деректерді өңдеу және талдау үшін қолданылатын маңызды құрал. Бұл жүйелер спутиниктік деректерді карта түрінде көрсетуге, сонымен қатар әртүрлі талдау жұмыстарын жасауға мүмкіндік береді. Бұл талдаулардың нәтижесінде мұндай модельдер табиғи процестердің динамикасын зерттеуге көмектеседі. Қызылорда облысының басты өзендерінің бірі Сырдария өзенінің бойында суармалы егіншілік дамыған. Бұл аймақтарда күріш, бидай және басқа да ауыл шаруашылығы дақылдары өсіріледі. Суармалы егіншілік жер жамылғысының құрылымына айтарлықтай әсер етеді.

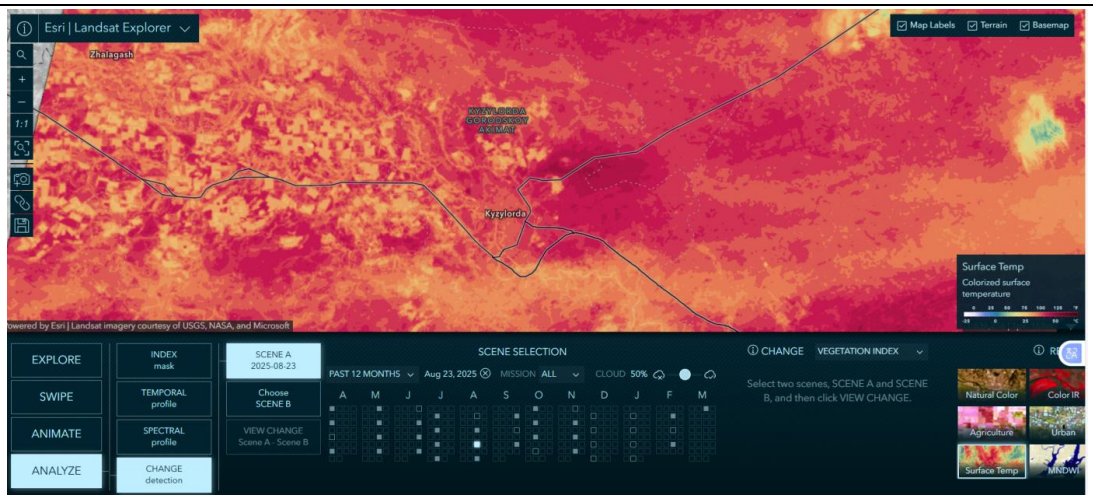
Деректерді зерттеу барысында Esri Landsat Exporer веб-қосымшасының көмегімен екі айлық деректерді (маусым және тамыз) салыстыру барысында аймақта температураның өзгерісі айқын байқалады. Температураның жоғарылауы көбінесе құрғақ және өсімдік жамылғысы аз аймақтарда тіркелетінін бақылай аламыз. Жер бетінің температурасының мұндай кеңістіктік айырмашылықтары климат өзгерісімен қатар антропогендік факторғада тікелей байланысты. Алынған деректерден байқайтынымыздай, қаланың солтүстік бөлігі 25-50° аралығындағы температура көрсеткіші қою қызыл деректі береді. Яғни аймақ жаз айларында аптап ыстық. Салдарынан жер бетіндегі топырақ қабаттарының тұздану, құнарлы қабатын жоғалтуы сияқты зардаптарға ұшырайтындығы белгілі [3].

2025 жылдың 12 маусым айындағы деректе аймақтың температуралық фоны салыстырмалы түрде біркелкі болып көрінеді. Картадағы деректерге сәйкес қызыл және қызғылт түстер жер бетінің орташа жылығанын көрсетеді, ал ашық көгілдір түс салқын аймақтарды бейнелейді (2-сурет).



Сурет 2 – 2025 жылдың маусым айының 12 жұлдызындағы Қызылорда қаласының маңының жер бетінің беткі температура көрсеткіші

Тура осы жылдың тамыз айының 23 күнгі деректерге сәйкес, картада қызыл және қою қызыл түстердің басым болуы, жер бетінің қатты қызғандығының көрінісі (3-сурет). Әсіресе шөлейт және ашық топырақ аймақтарда температура жоғары деңгейге жеткен. Бұл жағдай Қызылорда облысының құрғақ әрі континенттік климатына тікелей байланысты.



Сурет 3 – 2025 жылдың тамыз айының 23 жұлдызындағы Қызылорда қаласының маңының жер бетінің беткі температура көрсеткіші

Қорытынды. Зерттеу жұмысы барысында қашықтықтан зондтау технологиялары жер жамылғысын зерттеудің тиімді құралы екендігіне көз жеткізе отырып, спутниктік деректерді қолдана отырып, топырақтың жай-күйі таралы кеңістіктік ақпарат алуға мүмкіндік алдық. Қызылорда мысалында жүргізілген зерттеулер топырақтың тұздану мәселесін, жер ресурстарының өзгеріске ұшырауын айқын көрсетіп, аймақты тиімді пайдалану қажет екендігін, олардың деградациясының алдын алу шараларын қабылдау керектігін айқын көрсете алды [4].

Деректерді талдау барысында байқағанымыздай, Қызылорда облысыныңм жер жамылғысы жыл мезгілдеріне сәйкес ылғалдылықтың азаюымен, аптап ыстық нәтижесінде құрғақ климаттық жағдайын қалыптастырады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. https://kk.wikipedia.org/wiki/%D2%9A%D1%8B%D0%B7%D1%8B%D0%BB%D0%BE%D1%80%D0%B4%D0%B0_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D1%8B%D1%81%D1%8B [Қызылорда облысының зертеу деректері]
2. https://regions.vlast.kz/qyzylorda/kz [Аймақтың климат жағдайы деректері]
3. Esri Lamdsat Explorer веб-сайты
4. Jaramillo, P. et al. in Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change (eds Shukla, P. et al.) Ch. 10 (Cambridge Univ. Press, 2022).

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Канатбаев А.Д.
магистрант, Satbayev University, Алматы, Казахстан
Турсбеков С.В.
Профессор, к.т.н., Satbaye University, Алматы, Казахстан

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF GEODESIC SUPPORT FOR CONSTRUCTION

Kanatbayev A.
Master's Student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
Tursbekov S.
Professor, Candidate of Technical Sciences, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.20152004

Аннотация

В статье представлен анализ эволюции методов и технологий геодезического сопровождения (ГС) строительных проектов. Рассматривается переход от традиционных оптико-механических приборов к современным высокоточным электронным комплексам. Определены ключевые направления развития ГС, включающие автоматизацию, внедрение цифровых двойников (Digital Twins) и повышение эффективности мониторинга деформаций. Отдельно рассмотрены особенности применения электронного тахеометра Leica TS02 Plus и GNSS-приемника South G1 Plus при возведении двухблочного клубного дома в условиях плотной городской застройки (на примере г. Алматы), обосновывая эффективность данного инструментария. Показано, что цифровизация геодезии является критическим фактором для повышения качества, безопасности и экономической эффективности строительной отрасли.

Abstract

This article analyzes the evolution of methods and technologies used for geodesic support (GS) in construction projects. It examines the transition from traditional optical-mechanical instruments to modern high-precision electronic systems. Key development directions for GS are identified, including automation, the implementation of Digital Twins, and increasing the efficiency of real-time deformation monitoring. The paper specifically addresses the application of the Leica TS02 Plus electronic total station and the South G1 Plus GNSS receiver in the construction of a two-block club house in a dense urban environment (based on the example of Almaty), substantiating the effectiveness of this specific instrumentation. It demonstrates that the digitalization of geodesy is a critical factor for improving the quality, safety, and economic efficiency of the construction industry.

Ключевые слова: Геодезическое сопровождение, строительство, GNSS, электронный тахеометр, BIM-интеграция, клубный дом, Leica TS02 Plus, South G1 Plus, Алматы.

Keywords: Geodesic support, construction, GNSS, electronic total station, BIM integration, club house, Leica TS02 Plus, South G1 Plus, Almaty.

Введение

Геодезическое сопровождение строительства (ГС) является неотъемлемой и критически важной частью инвестиционно-строительного цикла, обеспечивая точность проектных решений на всех этапах: от изысканий до сдачи объекта в эксплуатацию и последующего мониторинга. Качество геодезических работ напрямую определяет долговечность, безопасность и соответствие возводимого объекта проектной документации. В условиях современного строительства, характеризующегося усложнением архитектурных форм, ростом этажности и необходимостью минимизации сроков, возрастают требования к оперативности, точности и надежности геодезического контроля.

Особую актуальность данный вопрос приобретает при возведении многоблочных жилых комплексов в условиях плотной городской застройки, например, в г. Алматы. Строительство двухблочного клубного дома сопряжено с такими геодезическими вызовами, как:

1. Обеспечение высокой точности позиционирования и вертикальности конструкций при ограниченном пространстве и высотных помехах.
2. Соблюдение точности взаимного расположения и сопряжения двух независимых блоков, включая подземные паркинги и общие зоны.
3. Необходимость постоянного мониторинга за влиянием нового строительства на окружающую застройку. Переход к цифровым методам ГС, основанным на рациональном использовании имеющегося электронного инструментария, становится ключевым фактором успеха в таких проектах.

На протяжении последних десятилетий геодезическое сопровождение претерпело кардинальные изменения под влиянием научно-технического прогресса. Проблема состоит в необходимости систематизации и анализа этих изменений, оценки их влияния на производственный процесс и выявления наиболее перспективных направлений дальнейшего развития ГС в контексте перехода строительной отрасли к парадигме Индустрии 4.0. Цель работы: Провести комплексный анализ развития методов и технологий геодезического сопровождения строительства, оценить эффективность современных цифровых решений, основанных на применении электронного тахеометра и GNSS-приемника, и сформулировать ключевые тенденции развития

отрасли на ближайшую перспективу, учитывая специфику многоблочного жилого строительства в городской среде.

Задачи исследования:

1. Рассмотреть исторические этапы развития геодезического инструментария.
2. Проанализировать технико-экономическую эффективность внедрения современных спутниковых и электронно-оптических технологий в условиях городских каньонов.
3. Исследовать проблемы и перспективы интеграции ГС с системами BIM и создания цифровых двойников для контроля геометрии многосекционных зданий.
4. Обосновать роль комбинации приборов в повышении точности и снижении человеческого фактора.

Исторический обзор и традиционные методы ГС . Классическая геодезия в строительстве. Ранние этапы геодезического сопровождения опирались на применение оптико-механических приборов. Основными инструментами являлись теодолиты, нивелиры и мерные ленты. Эти методы, основанные на геометрическом нивелировании и угловых измерениях, требовали высокой квалификации исполнителей, были трудоемкими, зависели от погодных условий и обладали ограниченной скоростью передачи данных. Точность измерений зависела от субъективных факторов, а объем исполнительной документации (журналы измерений, чертежи) был крайне велик.

Несмотря на недостатки, традиционные методы заложили фундаментальные принципы разбивочных работ и высотного контроля [1].

Переход к электронно-оптическим приборам

Началом цифровизации стало появление электронных тахеометров (ЭТ) и цифровых нивелиров в конце XX века. В частности, электронный тахеометр Leica TS02 Plus является ярким примером такого перехода, обеспечивая высокую точность угловых измерений (от 5 до 7 секунд) и безотражательные измерения. Электронный тахеометры позволили:

- Автоматизировать запись и хранение результатов измерений.
- Осуществить безотражательные измерения расстояний, что особенно ценно в условиях ограниченного доступа на объекте, характерного для клубных домов.
- Интегрировать микропроцессоры для выполнения расчетов непосредственно на объекте.
- Существенно повысить скорость и точность угловых и линейных измерений, что заложило основу для следующего этапа развития.

Современные цифровые технологии в ГС. Роль спутниковых навигационных систем (GNSS)

Глобальные навигационные спутниковые системы (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou) произвели революцию в геодезическом сопровождении [2]. Применение GNSS-приемников обеспечивает высокоточное позиционирование строительных конструкций и элементов в единой государственной или местной системе координат. Основные режимы и преимущества:

- **RTK (Real-Time Kinematic)**: Обеспечивает сантиметровую точность в реальном времени, что критически важно для оперативной разбивки осей и выноса проектных точек. На объекте, расположенном в Алматы, использовался GNSS-приемник South G1 Plus. Этот прибор эффективно применялся для создания и контроля геодезической разбивочной основы (ГРО) на открытой территории.
- **Сложности применения в Алматы**: В условиях плотной застройки и горного рельефа г. Алматы, где многоэтажные здания и естественные преграды создают помехи и ограничивают видимость небосвода, применение GNSS-приемника South G1 Plus в режиме RTK было осложнено. Это требовало обязательного комбинирования спутниковых данных с высокоточными угловыми и линейными измерениями, полученными с помощью тахеометра Leica TS02 Plus, для обеспечения точности работ внутри строительной площадки.
- **Мониторинг деформаций**: Постоянно действующие GNSS-станции позволяют контролировать осадки и смещения крупногабаритных объектов с миллиметровой точностью. Для жилых комплексов это особенно важно для контроля равномерности осадки двух блоков.

Рисунок 1 – GNSS-приемник South G1 Plus

Наземное лазерное сканирование (НЛС) и комбинированные методы

Технология лазерного сканирования (НЛС) является передовым методом, позволяющим быстро и с высокой плотностью получить точную трехмерную модель объекта в виде облака точек. Хотя на данном объекте НЛС не применялось, его потенциал следует рассматривать как следующий этап развития контроля качества [3].

Вызовы и проблемы внедрения

Несмотря на очевидные преимущества, переход на полностью цифровое ГС сопряжен с рядом проблем:

1. **Проблема совместимости данных**: Различия в форматах данных (BIM, GIS, облака точек) требуют разработки стандартизированных протоколов обмена, таких как IFC [4]. Данные с TS02 Plus и South G1 Plus требовали конвертации и адаптации для работы в BIM-среде.
2. **Кадровый вопрос**: Необходимость переподготовки геодезистов для работы с высокотехнологичным оборудованием, программированием и обработкой больших объемов данных (Big Data).
3. **Высокая стоимость оборудования**: Внедрение роботизированных комплексов и лазерных сканеров требует значительных первоначальных инвестиций, что ограничивает их использование на малых и средних объектах. Для средних застройщиков в Алматы, использование комбинации Leica TS02 Plus и South G1 Plus является оптимальным балансом между точностью и стоимостью.

Перспективы и направления развития

Будущее геодезического сопровождения неразрывно связано с использованием технологий искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения для обработки облаков точек, автоматической классификации объектов и выявления аномалий. [5]

- **Использование ИИ**: Автоматизация создания исполнительной документации, оптимизация траекторий сканирования, предсказание деформационных процессов.
- **Дополненная реальность (AR)**: Применение AR-очков позволяет геодезисту или строителю видеть проектную модель, наложенную на реальную строительную площадку. Это позволяет наглядно контролировать совмещение осей и коммуникаций двух блоков комплекса. Развитие будет идти по пути создания интегрированных программно-аппаратных комплексов, способных объединять данные от всех источников (GNSS, тахеометры, сканеры) в единой облачной среде для общего доступа и управления.

Выводы

Проведенный анализ подтверждает, что геодезическое сопровождение строительства находится на этапе активной цифровой трансформации. Переход от точечных измерений к сплошному пространственному сканированию и мониторингу в реальном времени кардинально меняет методологию и повышает точность ГС. На примере строительства многоблочных жилых комплексов в условиях плотной городской застройки (Алматы) показано, что именно комплексное и рациональное применение имеющегося инструментария – электронного тахеометра Leica TS02 Plus и GNSS-приемника South G1 Plus – позволяет эффективно решать задачи сложного позиционирования и сопряжения конструкций, достигая при этом оптимального соотношения «стоимость-точность». Ключевым направлением развития является полная интеграция ГС с BIM-технологиями и создание цифровых двойников, что позволяет перейти к проактивному управлению качеством и рисками на строительной площадке. Для успешной реализации этих тенденций необходимо сосредоточить усилия на стандартизации обмена данными и развитии компетенций персонала.

Список литературы

1. Поклад Г.Г., Гриднев С.П. Геодезия: учебное пособие для студентов вузов. – 3-е изд. – Москва: Академический проект, 2013. – 538 с.
2. Батраков Ю.Г. GNSS-технологии в современном строительстве // Вестник гражданских инженеров. — 2019. — № 1 (72). — С. 143-150.

3. Попов В.П., Смирнов В.С. Лазерное сканирование как инструмент исполнительной геодезической съемки // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2020. — № 4. — С. 78-85.

4. Eastman, C. M., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. — 4th ed. — Wiley, 2018. — 650 p.

5. Smith K. The future of surveying: AI and augmented reality in the field // Journal of Geomatics Engineering. —2024. — Vol. 41. — P. 10-21.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ ВЫПОЛНЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ НЕПОВЕРЕННЫМ ПРИБОРОМ: ПРАКТИЧЕСКИЙ КЕЙС

Кусаинов А.Н.,
магистрант
Солтабаева С.Т.,
кандидат технических наук, профессор
Satbayev University, г. Алматы, Республика Казахстан

A ANALYSIS OF THE CONSEQUENCES OF PERFORMING GEODETIC WORK WITH AN UNCALIBRATED INSTRUMENT: PRACTICAL CASE

Kussainov A.
Master's Student
Soltabayeva S.
Candidate of Technical Sciences, Professor
Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.20152080

Аннотация

В статье рассматривается практический кейс инженерно-геодезических работ, выполненных неповеренным тахеометром Leica TS-серии, с последующей повторной съемкой поверенным тахеометром South NTS-серии. Проведен детальный сравнительный анализ результатов, выявлены систематические ошибки, рассмотрены причины их возникновения и экономические последствия. Статья демонстрирует, как отсутствие поверки влияет на качество, точность и безопасность инженерных работ.

Abstract

The article examines a practical case of engineering and geodetic works carried out using an uncalibrated Leica TS-series total station, followed by a repeated survey using a calibrated South NTS-series total station. A detailed comparative analysis of the results was conducted, systematic errors were identified, and the causes of their occurrence as well as the economic consequences were examined. The article demonstrates how the absence of calibration affects the quality, accuracy, and safety of engineering works.

Ключевые слова: инженерно-геодезические измерения, приборы, поверки, ошибки измерений, устранение.

Keywords: engineering geodetic measurements, instruments, calibration, measurement errors, elimination.

1. Введение

Инженерно-геодезические изыскания являются ключевым этапом подготовки любого строительного проекта, от проектирования небольших объектов до возведения крупных промышленных комплексов. Точность измерений напрямую определяет корректность проектной документации, правильность привязки зданий, сооружений, инженерных сетей и благоустройства территории. В Казахстане законодательство строго регулирует требования к метрологическому обеспечению геодезических работ. В частности, **Закон РК «Об обеспечении единства измерений» №412-II** устанавливает обязательность регулярной поверки всех средств измерений, используемых в инженерной практике. Нормативные документы, такие как **СП РК 1.03-105-2019 «Инженерные изыскания для строительства», СН РК 1.02-03-2011 «Инженерно-геодезические изыскания» и СТ РК ГОСТ 10528-2015 «Приборы геодезические»,** регламентируют точность, порядок поверки, методы контроля и интервал обслуживания приборов.

Несмотря на существующие требования, на практике встречаются ситуации, когда инженерные работы выполняются приборами с истекшей поверкой или без соответствующей метрологической документации. Основные причины — экономия времени, недостаточный контроль со стороны руководства и отсутствие ответственности за метрологическое состояние оборудования.

Нарушение метрологических требований может привести к:

- накоплению систематических ошибок в измерениях,
- искажению координат объектов,
- неверной привязке инженерных коммуникаций,
- необходимости повторной съемки и переработки проекта,
- финансовым потерям и рискам для строительного процесса.

В данном исследовании представлен ***реальный кейс,*** когда первичная съемка была выполнена неповеренным тахеометром ***Leica TS-серии*****,** а повторная — поверенным прибором ***South NTS-серии***.

Цель исследования — выявить характер ошибок, оценить последствия использования неповеренного прибора, продемонстрировать важность метрологической дисциплины и предложить рекомендации по контролю качества геодезических работ.

В работе рассматриваются:

1. Характер и структура ошибок неповеренного прибора;

2. Методы выявления и анализа ошибок через повторные измерения;

3. Влияние ошибок на проектные решения и строительство;

4. Экономические последствия и риски;

5. Обоснование необходимости регулярной поверки в соответствии с законодательством Республики Казахстан.

Практическая ценность кейса заключается в том, что он демонстрирует реальные последствия нарушения метрологической дисциплины и позволяет разработать рекомендации для минимизации ошибок и обеспечения безопасности строительного процесса.

2. Описание ситуации

Работы проводились на промышленной площадке площадью 3,2 га, включающей:

- Здания различной этажности (1–3 этажа), требующие точной фиксации высот;
- Существующие инженерные сети (водопровод, канализация, газ, электрические кабели);
- Асфальтовые и грунтовые покрытия, влияющие на установку прибора;
- Пересечённый рельеф с перепадом высот до 2,8 м.

Масштаб съемки — 1:500, что соответствует требованиям СН РК 1.02-03-2011.

Первичные измерения прибором Leica. Характеристики прибора Leica TS:

- Угловая точность 2″;
- Измерение расстояний 2 мм + 2 ppm;
- Автоматический компенсатор и EDM-модуль.

Ограничения:

- Срок поверки истёк 11 месяцев;
- Нет актуального свидетельства о поверке;
- Не проводилось сервисное обслуживание более 2 лет.

Накопленная систематическая ошибка проявилась после сравнения с архивными данными.

Выявление расхождений. Заказчик обнаружил:

- Смещение в плане: 25–45 мм;
- Превышение по высоте: 8–12 мм;
- Несоответствие линий коммуникаций и осевых линий зданий;
- Невозможность корректной привязки новых объектов к рельефу.

Повторная съемка поверенным прибором South NTS:

- Поверка действительна (выдана 2 месяца назад);
- Угловая точность 2″, точность расстояний 2 мм + 2 ppm;
- Исправный компенсатор и EDM-модуль.

Повторная съемка проводилась по идентичной сетке 24 контрольных точек: углы зданий, колодцы, точки рельефа, осевые линии дорог.

3. Методика повторной съемки и анализа погрешностей

Выбор контрольных точек. Контрольные точки были выбраны с учетом:

- Участков максимальной плотности коммуникаций;
- Линий, которые наиболее критичны для проектирования;
- Различий по рельефу, для выявления систематических и случайных ошибок.

Формулы расчета отклонений

Пусть (XL,YL,HL)(X_L, Y_L, H_L)(XL,YL,HL) — координаты точки по Leica, (XS,YS,HS)(X_S, Y_S, H_S)(XS,YS,HS) — по South.

Тогда отклонения по координатам:

$$\Delta X = XS - XL, \Delta Y = YS - YL, \Delta H = HS - HL \backslash Delta\ X = X_S - X_L, \backslash quad \backslash Delta\ Y = Y_S - Y_L, \backslash quad \backslash Delta\ H = H_S - H_L \Delta X = XS - XL, \Delta Y = YS - YL, \Delta H = HS - HL. \quad (1)$$

Линейное отклонение в плане:

$$\Delta xy = (\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2 \backslash Delta_\{xy\} = \backslash sqrt\{(\backslash Delta\ X)^2 + (\backslash Delta\ Y)^2\} \Delta xy = (\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2. \quad (2)$$

Пространственное отклонение:

$$\Delta xyz = (\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2 + (\Delta H)^2 \backslash Delta_\{xyz\} = \backslash sqrt\{(\backslash Delta\ X)^2 + (\backslash Delta\ Y)^2 + (\backslash Delta\ H)^2\} \Delta xyz = (\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2 + (\Delta H)^2 . \quad (3)$$

Статистический анализ

- Среднее отклонение в плане: $\Delta xy^{-} \backslash overline\{\backslash Delta_\{xy\}\} \Delta xy$
- Среднее превышение: $\Delta H^{-} \backslash overline\{\backslash Delta\ H\} \Delta H$
- Направленность ошибки определяется векторами ΔX/ΔY для каждой точки.
- Графический анализ позволяет выявить линейный рост ошибки с увеличением длины визирования.

4. Результаты сравнительного анализа (таблица)

Таблица отклонений 24 точек (фрагмент)

№	ΔX (мм)	ΔY (мм)	ΔH (мм)	Δпл (мм)	Комментарий
1	+14	-11	+6	18	Лёгкая ошибка, направление совпадает с общей систематикой
2	+22	-25	+9	33	Систематический сдвиг по диагонали участка
3	+31	-28	+11	42	Ошибка растёт с увеличением расстояния до станции
4	+27	-19	+14	33	Стабильное смещение, возможно дрейф компенсатора
5	+35	-32	+10	47	Максимальное отклонение по плану
6	+18	-15	+8	23	Средняя ошибка по направлению X/Y
7	+29	-24	+12	38	Накопление систематической ошибки EDM
8	+20	-18	+9	27	Ошибка умеренная, направления совпадают
9	+33	-30	+13	45	Наиболее удалённая точка — максимальная погрешность
10	+26	-22	+11	34	Средняя ошибка по линии визирования
11	+21	-17	+7	27	Лёгкая ошибка, не критичная
12	+32	-28	+12	43	Погрешность растёт с расстоянием
13	+19	-14	+8	24	Ошибка стабильная, компенсатор в пределах нормы
14	+30	-26	+10	40	Систематический сдвиг совпадает с общей тенденцией
15	+23	-20	+9	31	Средняя ошибка по плану
16	+28	-25	+11	37	Рост ошибки с длиной визирования
17	+24	-21	+8	32	Оотклонение, в пределах допустимого для неповеренного прибора
18	+34	-29	+13	45	Максимальная ошибка по высоте и в плане
19	+22	-18	+9	28	Средняя ошибка по участку
20	+31	-27	+12	41	Систематический сдвиг сохраняется
21	+25	-22	+10	33	Ошибка умеренная, стабильная
22	+29	-26	+11	38	Рост ошибки наблюдается по линии визирования
23	+20	-16	+8	26	Лёгкая ошибка, не критичная
24	+28	-23	+10	36	Средняя ошибка, совпадает с общей тенденцией

Примечания к таблице: ΔX, ΔY, ΔH — разница координат между поверенным прибором South и неповеренным Leica. Δпл — линейное отклонение в плане, вычисленное по формуле (2).

Анализ ошибок

- Все точки показывают *одинаковую направленность ошибки* (~212–215°);
- Рост ошибки пропорционален длине визирования → неисправность EDM-модуля;
- Среднее отклонение: 32 мм в плане, 9 мм по высоте;
- Наиболее вероятные причины: нарушенная юстировка, дрейф компенсатора, отсутствие поверки, температурные колебания.

5. Обсуждение и последствия

5.1. Последствия ошибок координат и высот для проектирования и строительства.

Ошибки измерений, выявленные при сравнении данных неповеренного тахеометра Leica TS-серии с поверенным прибором South NTS-серии, имеют ряд критических последствий для проектирования и строительства.

5.1.1. Ошибки координат и неверная привязка инженерных сетей

Отклонения координат до **40 мм** кажутся на первый взгляд небольшими, однако в инженерной практике они могут иметь существенное влияние:

- Для систем водопровода и канализации даже смещение трубопровода на 3–4 см может привести к ***изменению уклонов***, нарушению самотечного стока и необходимости пересчета всей трассы сети.
- В электро- и телекоммуникационных сетях точность привязки определяет корректность установки опор, подземных кабелей и шкафов. Ошибка в 2–4 см может привести к конфликту с существующими коммуникациями и необходимости ***переноса оборудования,*** что увеличивает время монтажа и стоимость проекта.
- Точность привязки влияет на геодезическую синхронизацию нескольких видов коммуникаций. Ошибка одного прибора создаёт ***эффект «домина»***, когда небольшое смещение одной линии вызывает пересчёт и корректировку всех смежных сетей.

5.1.2. Высотные ошибки и расчет уклонов трубопроводов

Ошибки по высоте до **12 мм** имеют прямое влияние на гидравлические расчёты трубопроводов и инженерных систем:

- Для самотечного водоотвода и канализации даже незначительный уклон отличается от проектного и приводит к ***застою жидкости, засорам и снижению пропускной способности системы.***
- В ливневой канализации, где уклон критически важен для отвода дождевой воды, ошибка 1–1,5 см может создать риск ***затопления территории***, особенно на участках с низким перепадом рельефа.
- Высотные ошибки влияют на проектирование фундамента, гидроизоляции и наружных инженерных сетей, что может повлечь ***дополнительные работы и перерасход материалов.***

5.1.3. Ошибки смещения зданий и сооружений

Ошибки смещения зданий и сооружений напрямую влияют на **геометрическую корректность всего объекта:**

- Перенос осей стен и колонн даже на несколько сантиметров приводит к ***нестыковке с проектной сеткой***, особенно если проект включает несколько смежных зданий или сооружений.
- Неверное размещение конструкций может вызвать ***конфликты с инженерными коммуникациями*** (трубопроводы, кабельные каналы, вентиляционные шахты). Например, колонна здания может оказаться на месте линии водопровода, что потребует ***полного изменения трассы трубы или конструкции колонны.***
- Ошибки смещения вызывают перерасход строительных материалов: перекрытия и фундаменты приходится переделывать, лишние бетонные смеси и арматура расходуются впустую.
- На больших промышленных объектах такие ошибки могут привести к ***стоимости переделок до нескольких процентов бюджета строительства,*** что является значительной суммой для предприятий и инвесторов.

5.1.4. Общие последствия для проекта

Суммарно, ошибки, возникшие из-за использования неповеренного геодезического прибора, могут вызвать цепочку проблем:

- необходимость повторных измерений и корректировок;
- задержку сроков строительства;
- перерасход материалов и ресурсов;
- увеличение финансовых рисков и потенциальные штрафы за несоблюдение проектной документации;
- снижение доверия заказчика к геодезической группе и подрядчику.

Таким образом, даже относительно небольшие погрешности (до 40 мм в плане и 12 мм по высоте) оказывают ***существенное влияние на точность проектирования, качество строительства и экономику проекта***, что подчёркивает необходимость строгого соблюдения метрологической дисциплины и регулярной поверки приборов.

5.2. Последствия для строительства и эксплуатации

Ошибки геодезических измерений, возникающие при использовании неповеренного прибора, напрямую влияют на процесс строительства, качество исполнения и последующую эксплуатацию объекта. Даже небольшие отклонения, выявленные в ходе анализа, могут вызвать серьёзные проблемы.

5.2.1. Неверные отметки и несоответствие исполнительной документации

Исполнительная документация — это основной документ, по которому строители и подрядчики фиксируют фактическое положение всех элементов объекта. Неверные отметки высот или координат точек приводят к следующим последствиям:

- Сходство построенных объектов с проектом нарушается, что затрудняет последующую проверку и сдачу объекта. Например, перепад высот дорог или площадок может быть не зафиксирован должным образом, что создаёт риски для дальнейшей эксплуатации.
- Нарушение точности исполнительной документации приводит к несоответствию с ***техническим надзором и государственными требованиями,*** что может повлечь штрафные санкции.
- При проверке строителями и инженерами появляется необходимость ***корректировать документацию***, что требует дополнительного времени и усилий.

5.2.2. Риск повреждения коммуникаций при прокладке новых сетей

Систематические ошибки координат и высот могут привести к **неправильной привязке объектов к существующим инженерным сетям**. Последствия:

- При прокладке трубопроводов, кабельных линий, канализационных систем или газопроводов существует риск ***повреждения уже проложенных коммуникаций***. Например, колонна здания может попасть в место прокладки трубопровода, а кабель — оказаться в зоне будущей дороги.
- Ошибки увеличивают вероятность аварийных ситуаций, особенно если коммуникации не имеют запаса точности или жестких допусков.

5.2.3. Необходимость повторных измерений и удорожание работ

Когда первичные измерения неповеренным прибором оказываются недостоверными, возникает необходимость повторной геодезической съемки. Это вызывает:

- ***Дополнительные трудозатраты*** геодезической группы, включая повторное закрепление контрольных точек, установку прибора и проведение полного цикла измерений.
- ***Увеличение сроков строительства***, так как корректировка проектной документации и повторная проверка занимаются параллельно с монтажными работами.
- ***Финансовые потери,*** связанные с повторной съемкой, переработкой исполнительной документации, перерасчетом строительных материалов и компенсацией возможных ошибок монтажников.
- На крупных объектах повторные измерения могут увеличить бюджет проекта на **до 5–10%,** что особенно критично для инвесторов и заказчиков.

5.2.4. Общие последствия для строительства и эксплуатации

Суммарно, ошибки измерений приводят к:

- Потере времени и ресурсов;
- Увеличению расходов на материалы и труд;
- Риску аварий и повреждений инфраструктуры;
- Снижению качества построенного объекта;
- Повышению ответственности подрядчика перед заказчиком и государственными органами.

5.3. Экономические последствия

Ошибки измерений неповеренным прибором Leica TS-серии имеют не только техническое и проектное значение, но и **существенные экономические последствия**. Даже небольшие погрешности

могут привести к значительным перерасходам бюджета и времени.

5.3.1. Повторная съемка: +25–40% бюджета

- Когда первичные данные оказываются недостоверными, приходится проводить ***полный цикл повторной геодезической съемки*** с поверенным прибором.
  - Включает затраты на: работу специалистов (инженеров и техников); оборудование и его транспортировку; закрепление контрольных точек, подготовку поверхности и безопасную установку приборов.
- На практике повторная съемка может ***увеличить стоимость работ на 25–40%,*** особенно если участок большой и имеет сложный рельеф, большое количество инженерных коммуникаций или плотную застройку.

5.3.2. Корректировка проекта: до 3% стоимости

- Неверные координаты и отметки требуют ***переработки проектной документации:*** чертежей, схем коммуникаций, планов благоустройства и расположения сооружений.

Это включает: перерасчёт трасс сетей; корректировку уклонов трубопроводов; изменение мест установки опор, колонн и фундаментов; обновление исполнительной документации.

- В среднем переработка документации приводит к увеличению стоимости проекта на **до 3%,** что может составлять сотни тысяч или даже миллионы тенге для промышленных объектов.
- Эти расходы являются непрямыми, но они напрямую зависят от точности первичных измерений и от того, насколько вовремя обнаружена ошибка.

5.3.3. Простой подрядчиков: 2–5 дней

- Пока выполняется повторная съемка и корректировка документации, строительные бригады часто ***приостанавливают работы***, чтобы избежать ошибок и несоответствия проекту.
- На практике простой подрядчиков может составлять ***от 2 до 5 дней***, что увеличивает общий срок строительства.
- Простои ведут к дополнительным финансовым потерям: зарплата рабочих выплачивается, техника простаивает, аренда оборудования продолжается.
- Кроме того, простои негативно влияют на план-график проекта, особенно если работы ведутся параллельно с другими подрядными организациями.

5.3.4. Риски штрафов и согласований

- Использование недостоверных данных и нарушение требований нормативных документов Республики Казахстан создаёт ***юридические и финансовые риски:***

штрафы за несоблюдение СП РК 1.03-105-2019, СН РК 1.02-03-2011 и ГОСТ РК 10528-2015; необходимость повторного согласования проектной и исполнительной документации с госорганами; возможные претензии со стороны заказчика за несоответствие качества работ.

- Все эти факторы приводят к ***непредвиденным расходам***, которые могут значительно превысить затраты на правильную и своевременную поверку оборудования.

5.3.5. Суммарный экономический эффект

- Сочетание всех перечисленных факторов — повторная съемка, корректировка проекта, простой подрядчиков, штрафы и согласования — приводит к **существенному увеличению бюджета проекта.**
- Для крупных объектов это может составлять ***несколько миллионов тенге***, а для частных или средних проектов — значительный процент бюджета.
- Наиболее затратной является комбинация ошибок координат и высот, так как она одновременно влияет на ***строительство, проектирование и эксплуатацию,*** создавая каскад негативных эффектов.

5. Выводы.

Анализ проведенного кейса инженерно-геодезических работ показал, что первичная съемка неповеренным тахеометром Leica TS-серии привела к накоплению устойчивой систематической ошибки. Отклонения координат в плане достигали 40 мм, а высотные ошибки составляли до 12 мм. Хотя на первый взгляд эти значения могут казаться незначительными, для инженерной практики и проектирования они критичны. Непроверенный прибор не позволил получить достоверные данные, пригодные для точной привязки инженерных коммуникаций, проектирования зданий и сооружений, а также для расчета уклонов трубопроводов.

Кейс наглядно демонстрирует, что систематические ошибки можно минимизировать только при регулярной поверке и техническом обслуживании приборов. Законодательство Республики Казахстан, включая Закон РК «Об обеспечении единства измерений» №412-II, СП РК 1.03-105-2019, СН РК 1.02-03-2011 и СТ РК ГОСТ 10528-2015, строго регламентирует сроки поверки и метрологические требования. Соблюдение этих норм обеспечивает сохранение точности измерений, предотвращает накопление систематических ошибок и снижает риски для проекта и строительства в целом.

Практическая ценность кейса заключается в том, что на конкретном примере показано влияние неповеренного прибора на результаты съемки, а также на экономические и организационные аспекты проекта. Анализ ошибок позволил определить масштаб и направленность систематической погрешности, что является важным для разработки методических рекомендаций и планирования метрологического контроля в инженерно-геодезической практике. Внедрение строгой системы контроля качества, включающей обязательное подтверждение поверки каждого прибора, позволяет минимизировать технические, экономические и юридические риски.

Список литературы

1. Закон Республики Казахстан «Об обеспечении единства измерений» №412-II.

2. СТ РК 2.44-2003 «Поверка средств измерений».

3. СП РК 1.02-01-2015 «Инженерно-геодезическая документация».

4. Методические рекомендации «Организация геодезических работ на строительных объектах», Минстрой РК, 2017.

5. Токарев В.П., «Методика поверки и эксплуатации тахеометров», Астана, 2018.

6. Сатбаев К.М., «Современные геодезические приборы и их метрологическое обеспечение», Алматы, 2020.

7. Руководство пользователя тахеометра Leica TS-серии, Leica Geosystems, 2017.

8. Руководство пользователя тахеометра South NTS-серии, South Surveying & Mapping Instrument Co., 2019.

ВЫБОР МЕТОДА ТРАНСФОРМАЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КООРДИНАТ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ЗАДАЧИ

Когай И.Ю.
магистрант, Satbayev University, Алматы, Казахстан
Орманбекова А.Е.
профессор, доктор PhD, Satbaye University, Алматы, Казахстан

SELECTING A METHOD FOR TRANSFORMING GEODETIC COORDINATES DEPENDING ON THE CONDITIONS OF THE PROBLEM

Kogai I.
Master's student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
Ormambekova A.
PhD, Professor Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.20152131

Аннотация

В статье рассматриваются методы трансформации геодезических координат и анализируются условия их применения в геодезических и геоинформационных задачах. Особое внимание уделено выбору метода в зависимости от требуемой точности, масштаба территории и наличия исходных данных. Рассмотрены параметрические, сеточные и полиномиальные методы преобразований. Выполнено обобщение факторов, влияющих на выбор метода трансформации координат.

Abstract

This article examines methods for transforming geodetic coordinates and analyzes the conditions for their application in geodetic and geoinformation applications. Particular attention is paid to the choice of method depending on the required accuracy, territorial scale, and availability of source data. Parametric, grid, and polynomial transformation methods are considered. A summary of the factors influencing the choice of coordinate transformation method is provided.

Ключевые слова: трансформация координат, системы координат, датум, преобразование Гельмерт, Молоденский, Молоденский-Бадекас, грид, Полиномиальные преобразования.

Keywords: coordinate transformation, coordinate systems, datum, Helmert, Molodensky, Molodensky-Badekas transformation, grid, polynomial transformations.

1. Введение

В современной геодезии, картографии и геоинформационных системах широко используются различные системы координат, отличающиеся параметрами референц-эллипсоидов, ориентацией осей и положением начала координат. Это обусловливает необходимость трансформации координат при интеграции пространственных данных, полученных из различных источников, включая глобальные навигационные спутниковые системы, материалы дистанционного зондирования Земли, результаты топографических съёмок и локальные геодезические сети различного уровня точности.

Различия между геодезическими системами координат могут приводить к существенным погрешностям при обработке геопространственной информации, а также к снижению точности результатов геодезических и картографических работ, что особенно критично при выполнении инженерных, кадастровых, строительных и проектных задач. Неправильный выбор метода трансформации способен привести к накоплению ошибок и искажению пространственных данных.

В связи с этим выбор метода трансформации координат становится важным этапом обработки данных. Корректный выбор метода должен учитывать условия задачи, включая масштаб территории, требуемую точность, тип выполняемых работ, а также наличие, полноту и качество исходных параметров, что определяет актуальность данной проблемы в современных геодезических исследованиях и практических приложениях. [1,2]

2. Основное содержание

К основным методам трансформации геодезических координат относятся несколько подходов:

Геоцентрическое преобразование (метод трёх параметров): основано на представлении координат в трёхмерной декартовой системе (X, Y, Z). В рамках данного метода различие между двумя геодезическими датумами описывается посредством трёх линейных смещений по осям координат $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$. Один датум принимается за исходный с центром в начале координат, а второй рассматривается как смещённый относительно него.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \text{конечные} = \begin{bmatrix} \triangle X \\ \triangle Y \\ \triangle Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \text{начальные}, \quad (1)$$

[3,4]

Преобразование Гельмерта: представляет собой более общий параметрический метод, включающий семь параметров: три линейных смещения (C_X, C_Y, C_Z), три угла поворота вокруг координатных осей (r_X, r_Y, r_Z) и масштабный коэффициент s. Данный метод широко применяется при переходе между различными геоцентрическими системами координат и обеспечивает высокую точность преобразований.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} B = \begin{bmatrix} C_X \\ C_y \\ C_z \end{bmatrix} + (1 + s * 10^{-6}) \begin{bmatrix} 1 & r_z & r_y \\ r_z & 1 & -r_x \\ -r_y & r_x & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} A, \quad (2)$$

[3,4]

Метод Молоденского: позволяет выполнять преобразование координат непосредственно между географическими системами без перехода к декартовой системе координат. В основе метода лежит использование трёх параметров смещения $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$, а также различий в параметрах референц-эллипсоидов, таких как большая полуось (Δa) и сжатие (Δf).

$$(M + h) \triangle \phi = -sin\ \phi\ cos\lambda \triangle X - sin\ \phi\ sin\lambda \triangle Y + cos\phi \triangle Z + \frac{e^2 sin\ \phi\ cos\phi}{(1-e^2 sin^2\phi)^{\frac{1}{2}}} \triangle \alpha + sin\ \phi\ cos\phi \left(M \frac{a}{b} + N \frac{a}{b}\right) \triangle f, \quad (3)$$

$$(N + h) cos \triangle \phi = -\sin\lambda \triangle X + cos\lambda \triangle X, \quad (4)$$

$$\triangle h = \cos\phi\ cos\lambda \triangle X + \cos\phi\ sin\lambda \triangle Y + sin\phi \triangle Z + (a \triangle f + f \triangle a) sin^2\phi - \triangle \alpha, \quad (5)$$

[3,4]

Молоденского–Бадекаса: является развитием параметрических методов трансформации. Его особенностью является выполнение преобразования относительно выбранной опорной точки, что позволяет учитывать локальные особенности геодезической сети и повышать точность преобразований на ограниченных территориях.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} B = \begin{bmatrix} \triangle X \\ \triangle Y \\ \triangle Z \end{bmatrix} A + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} A + \begin{bmatrix} 1 & r_z & r_y \\ r_z & 1 & -r_x \\ -r_y & r_x & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X_A - X_A^0 \\ Y_A - Y_A^0 \\ Z_A - Z_A^0 \end{bmatrix} + \triangle S \begin{bmatrix} X_A - X_A^0 \\ Y_A - Y_A^0 \\ Z_A - Z_A^0 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где (X_A^0 , Y_A^0 , Z_A^0)— начало отсчёта для разворота и масштабного преобразования, а ΔS — масштабный коэффицент. [3,4]

$$x_0 = a_0 + a_1 x + a_2 y, \quad (7)$$

$$y_0 = b_0 + b_1 x + b_2 y, \quad (8)$$

где x, y - исходные координаты, x_0, y_0 - конечные координаты.[4,5]

Метод Grid-based (сеточный метод): основан на использовании заранее подготовленной сетки, в узлах которой заданы значения смещений между двумя системами координат. Для преобразования координат определяется ячейка сетки, в которой находится точка, после чего её положение уточняется с помощью интерполяции значений смещений соседних узлов. [3]

Полиномиальные преобразования: используются для трансформации координат в случаях, когда присутствуют нелинейные искажения. В основе метода лежит использование полиномиальных функций, позволяющих описать сложные зависимости между исходной и целевой системами координат.

Преобразование 1-го порядка представляет собой линейное преобразование координат, позволяющее выполнять смещение, масштабирование, наклон, поворот и отражение объекта. Смещение обеспечивает перенос изображения по осям X и Y, масштабирование изменяет его размеры с возможностью различного коэффициента по каждой оси, а наклон и поворот позволяют учитывать геометрические искажения. Поворот может выполняться на произвольный угол относительно центра изображения, а отражение - по одной или обеим осям.

Для реализации преобразования первого порядка определяются шесть коэффициентов - по три для каждой координаты X и Y ($(a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2)$), которые используются в уравнениях преобразования:

Полиномиальное преобразование 2-го порядка применяется для учета более сложных, нелинейных искажений. Данный метод позволяет учитывать кривизну и деформации изображения. Уравнение для минимального n=6 количества опорных точек:

$$x' = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2, \quad (9)$$

$$y' = b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 x^2 + b_4 xy + b_5 y^2, \quad (10)$$

где x, y - координаты в исходной системе координат, x', y' - координаты в конечной системе координат, a_{0-5}, b_{0-5} - коэффициенты. [4,5]

Аффиное преоброзование: представляет собой линейное преобразование координат, при котором сохраняются свойства параллельности прямых и относительное положение объектов. Данный метод позволяет учитывать смещение, масштабирование, поворот и наклон координатной системы.

Совершить переход к новым координатам и мы можем с помощью следующей системы:

$$x' = a_0 + a_1 x + a_2 y, \quad (11)$$

$$y' = b_0 + b_1 x + b_2 y, \quad (12)$$

где x, y - исходные координаты, x', y' - преобразованные координаты, a_0, a_0 - параметры смещения, a_1, a_2, b_1, b_2 - коэффициенты, отвечающие за поворот, масштабирование, наклон. [4,5]

Для оценки применимости различных методов был выполнен эксперимент на наборе контрольных точек. В качестве исходных данных использовались геодезические координаты восьми пунктов в системе QazTRF23, а в качестве целевых - соответствующие координаты в проекции Гаусса-Крюгера. На первом этапе было выполнено аффинное преобразование с использованием программной среды MATLAB. Аффинное преобразование контрольных точек выполнялось по формулам (11)-(12). Результаты аффинного преобразования и взаимное положение исходных и преобразованных точек представлены на рисунке 1.

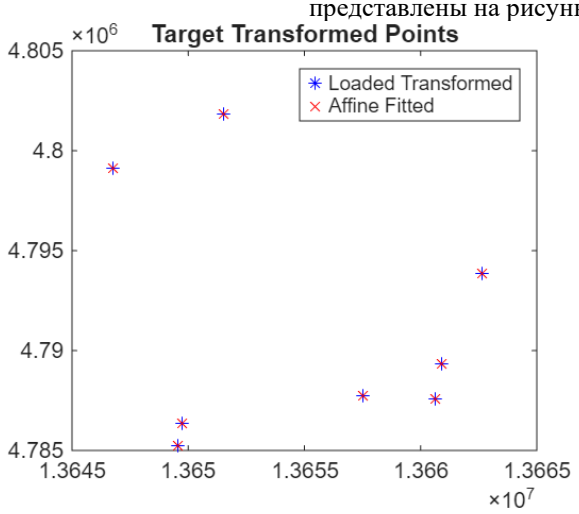


Рисунок 1 – Сопоставление исходных и преобразованных координат контрольных точек

RMSE при использовании аффинного преобразования на наборе из восьми контрольных точек составила 3.50 м. Полученное значение свидетельствует о том, что данный метод обеспечивает удовлетворительную точность при обработке небольших территорий и может применяться для предварительной привязки пространственных данных. Распределение остаточных ошибок по координатам Easting и Northing представлено на рисунке 2.

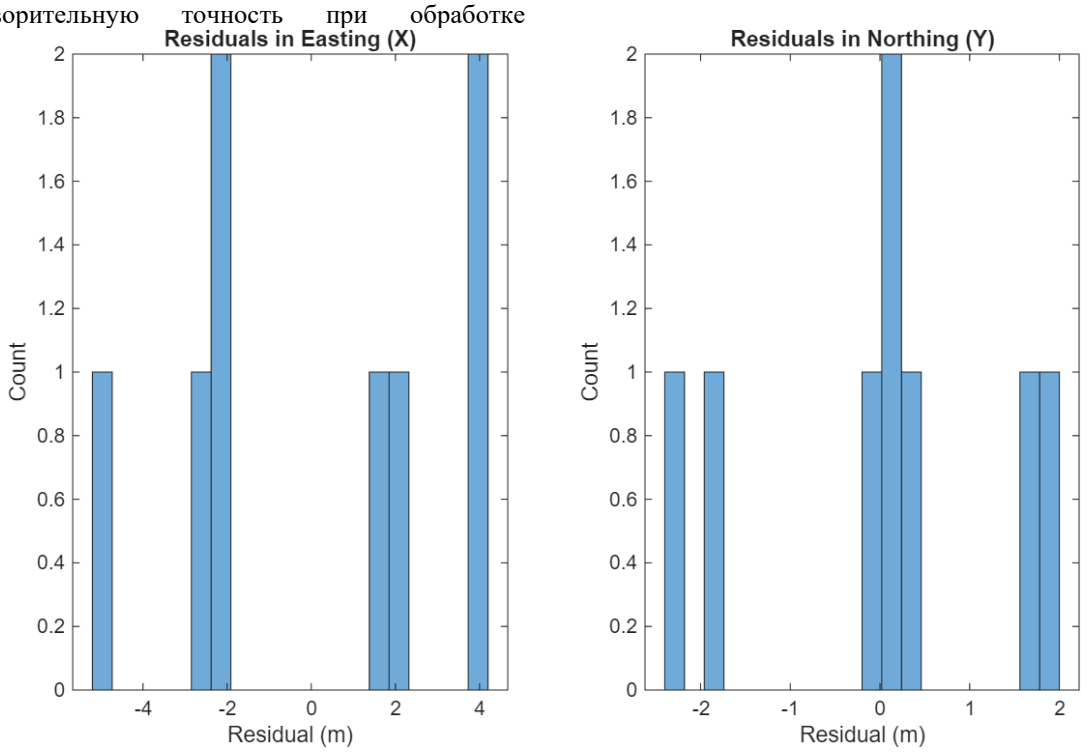


Рисунок 2 – Распределение остаточных ошибок по координатам Easting и Northing

Анализ распределения остаточных ошибок показал, что максимальные отклонения достигают около 5 м по координате Easting и около 4 м по координате Northing, что подтверждает ограниченную применимость аффинного преобразования при наличии нелинейных искажений.

Для повышения точности преобразования на том же наборе из восьми контрольных точек было выполнено полиномиальное преобразование второго порядка. В отличие от аффинного преобразования, данный метод позволяет учитывать нелиней-

ные искажения, возникающие при переходе от геодезических координат к координатам картографической проекции.

Расчёты выполнялись в среде MATLAB. Полиномиальное преобразование второго порядка рассчитывалось по выражениям (9)-(10).

По результатам вычислений среднеквадратическая ошибка составила:

$$\mathrm{RMSE_X} = 0.000483 \text{ м}$$
$$\mathrm{RMSE_Y} = 0.000060 \text{ м}$$

Полученные значения существенно меньше результатов, полученных при использовании аффинного преобразования. Это свидетельствует о том, что полиномиальное преобразование второго порядка значительно лучше описывает зависимость между геодезическими координатами и координатами проекции Гаусса-Крюгера, поскольку позволяет учитывать нелинейные деформации.

Вместе с тем применение данного метода требует большего количества контрольных точек и может приводить к нестабильности результатов при недостаточном объёме исходных данных или неравномерном расположении опорных пунктов.

Расчёты выполнялись на том же наборе из восьми контрольных точек в среде MATLAB. В качестве исходных данных использовались геодезические координаты пунктов в системе QazTRF23, а в качестве целевых- координаты этих же пунктов в проекции Гаусса-Крюгера. Для оценки применимости преобразования Гельмерта были использованы координаты восьми пунктов в проекции Гаусса-Крюгера, представленные в системах QazTRF23 и СК-42. В отличие от предыдущего эксперимента, обе системы были заданы в одинаковых единицах измерения, что соответствует условиям применения метода.

По результатам расчётов, выполненных в среде MATLAB, были получены следующие параметры: масштаб: -7.35ppm; угол поворота: $0.000357°$; смещение по X: 177.318м; смещение по Y: 2.987м; RMSE = 0.296м.

Полученное значение RMSE существенно меньше ошибки аффинного преобразования и свидетельствует о высокой эффективности метода Гельмерта при преобразовании координат между близкими системами, выраженными в одинаковых единицах измерения. Вместе с тем данный метод уступает полиномиальному преобразованию второго порядка, поскольку не учитывает локальные нелинейные искажения. Результаты сравнения точности исследуемых методов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение точности и ограничений исследуемых методов трансформации координат

Метод	Число точек	RMSE, м	Преимущества	Ограничения
Аффинное	8	3.50	Простота, учитывает смещение, масштаб, наклон	Не учитывает нелинейные искажения
Гельмерт 2D	8	0.296	Хорошо работает между близкими системами координат	Требует одинакового типа координат
Полиномиальное 2-го порядка	8	<0.001	Максимальная точность, учитывает нелинейности	Требует больше точек и может быть нестабильным

Полученные результаты показывают, что при преобразовании между близкими системами координат, заданными в одинаковых единицах измерения, наиболее эффективным является преобразование Гельмерта. Однако при наличии нелинейной связи между системами координат наилучшую точность обеспечивает полиномиальное преобразование второго порядка. Аффинное преобразование может использоваться как упрощённый метод предварительной привязки данных.

Выбор метода трансформации геодезических координат напрямую зависит от условий выполнения конкретной задачи, где определяющими факторами выступают требуемая точность, пространственный масштаб объекта и полнота исходных данных.

При необходимости выполнения приближённых преобразований, например на этапе рекогносцировки или предварительной привязки картографических материалов, целесообразно использовать методы, учитывающие только линейные смещения, такие как геоцентрическое преобразование (метод трёх параметров), позволяющее минимизировать вычислительные затраты при дефиците информации.

В задачах глобального уровня, связанных с обработкой данных GNSS и переходом между государственными или международными системами, требуется строгий учёт не только смещений, но и угловых разворотов и масштабных различий, что обеспечивается применением преобразования Гельмерта на обширных территориях. В случаях работы с архивными или неполными данными, когда параметры ориентации осей отсутствуют, рационально использовать метод Молоденского, позволяющий выполнять трансформацию непосредственно между геодезическими координатами (широтой, долготой и высотой).

Для локальных инженерно-геодезических изысканий, где важно исключить корреляцию между параметрами на ограниченном участке, применяется метод Молоденского-Бадекаса, повышающий стабильность решения за счёт введения локальной опорной точки. Если же задача требует обеспечения предельной точности в государственных сетях, имеющих накопленные нелинейные искажения, наиболее эффективными становятся сеточные методы (NTv2), основанные на интерполяции заранее рассчитанных матриц поправок.

Наконец, при обработке растровых данных и материалов дистанционного зондирования, содержащих сложные деформации (например, вызванные оптикой), применяются полиномиальные преобразования, позволяющие математически компенсировать нелинейные искажения даже в условиях отсутствия строгой аналитической модели связи между системами. Рекомендации по выбору метода трансформации координат в зависимости от условий задачи представлены в таблице 2. [6,7]

Таблица 2

Рекомендации по выбору метода трансформации геодезических координат в зависимости от условий задачи.

Условия задачи	Требования	Рекомендуемый метод	Обоснование выбора
Предварительная обработка данных, ориентировочная привязка	Низкая точность, минимум данных	Геоцентрическое (3 параметра)	Учитывает только смещения, прост в реализации
Глобальные задачи (GNSS, переход между системами)	Высокая точность, большие территории	Гельмерт	Учитывает смещения, повороты и масштаб, что важно при работе на обширных территориях
Отсутствие полной информации о параметрах	Ограниченные данные	Молоденский	Не требует перехода к геоцентрической системе, что упрощает вычисления при недостатке данных
Локальные инженерные задачи	Высокая точность на ограниченной территории	Молоденский-Бадекас	Учитывает локальный центр сети, что позволяет повысить точность преобразования в пределах локальных геодезических сетей
Кадастровые и высокоточные работы	Максимальная точность	Сеточные методы	Учитывают локальные искажения
Обработка растровых данных	Наличие нелинейных искажений	Полиномиальные преобразования	Позволяют учитывать сложные деформации

3. Выводы

В результате проведённого исследования установлено, что выбор метода трансформации геодезических координат является сложной задачей, зависящей от совокупности факторов, включая точностные требования, пространственный масштаб и полноту исходных данных. При этом эффективность применения различных методов определяется их соответствием конкретным условиям выполнения геодезических работ. Анализ показал, что ключевым фактором при выборе метода является баланс между требуемой точностью и доступностью исходной информации. В условиях ограниченных данных предпочтение отдается упрощённым моделям, тогда как при наличии полной информации и высоких требованиях к точности используются более сложные методы, позволяющие учитывать геометрические искажения и особенности территории. Особое значение имеет масштаб решаемой задачи, поскольку методы, эффективные на глобальном уровне, не всегда обеспечивают необходимую точность при локальных преобразованиях. В свою очередь, методы, ориентированные на локальные сети, нецелесообразны при обработке данных на больших территориях.

На основании представленного, можно сделать вывод, что универсальный метод трансформации координат отсутствует, а выбор конкретного подхода должен основываться на комплексной оценке условий задачи, что обеспечивает достижение необходимой точности и повышение надёжности геодезических результатов. [6,7]

Список литературы

1. Афонин, К. Ф. Высшая геодезия. Системы координат и преобразования между ними. 2020 г.

2. Курошев Г. Д., Харунжий А. А. Методы трансформации геодезических и пространственных прямоугольных координат, их алгоритмы, параметры, точность 2012 г.

3. Esri. Математические методы (методы уравнений)—ArcMap (Equation-based methods). ArcGIS Desktop Documentation, 2021.

4. OGP (IOGP) Guidance Note 7, Coordinate Conversions and Transformations including Formulas

5. WIKI.GIS-Lab. Полиномиальные преобразования

6. Kheloufi N., Dehni A. Some mathematical assumptions for accurate transformation parameters between WGS84 and Nord Sahara geodetic systems. Journal of Geodetic Science, 2023

7. PROJ. PROJ Documentation: Transformations

МЕТОДИКА РАСЧЁТА ОБЪЁМОВ АСФАЛЬТОВОГО ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ UAV-ФОТОГРАММЕТРИИ

Мирсидиков Ш.Х.
магистрант, Satbayev University, Алматы, Казахстан
Орманбекова А.Е.
PhD, старший преподаватель, Satbaye University, Алматы, Казахстан

METHODOLOGY FOR CALCULATING THE VOLUMES OF ASPHALT PAVEMENT OF ROADS BASED ON UAV PHOTOGRAMMETRY DATA

Mirsidikov Sh.
Master's Student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
Ormanbekova A.
PhD, Senior Lecturer, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.20152173

Аннотация

В статье представлена методика определения объёмов асфальтового покрытия автомобильных дорог на основе двухэтапной аэрофотосъёмки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и фотограмметрической обработки данных. Метод включает съёмку до и после укладки асфальтобетонной смеси, создание сети наземных опорных точек (GCP), построение плотных облаков точек и цифровых моделей поверхности в программном обеспечении Agisoft Metashape с последующей векторизацией в AutoCAD. Объём асфальта рассчитывается как интегральная разность двух цифровых моделей рельефа. Апробация на 30-километровом участке дороги в районе г. Жаркент (Казахстан) показала высокую точность: расчётный объём при проектной толщине слоя 0,05 м составил 450,15 м³, среднеквадратическое отклонение по плану — 0,04–0,05 м, по высоте — 0,06–0,07 м..

Abstract

The article presents a methodology for determining the volumes of asphalt pavement of highways based on two-stage aerial photography using unmanned aerial vehicles (UAVs) and photogrammetric data processing. The method includes surveys before and after laying the asphalt concrete mixture, establishment of a network of ground control points (GCP), generation of dense point clouds and digital surface models in Agisoft Metashape software, followed by vectorization in AutoCAD. The asphalt volume is calculated as the integral difference between two digital surface models. Validation on a 30-kilometer road section near Zharkent demonstrated high accuracy: the calculated volume at a design layer thickness of 0.05 m was 450.15 m³, root mean square error in plan was 0.04–0.05 m, and in height — 0.06–0.07 m.

Ключевые слова: аэрофотосъёмка, БПЛА, фотограмметрия, цифровая модель поверхности, объём асфальтового покрытия, наземные опорные точки, мониторинг дорожной инфраструктуры.

Keywords: aerial photography, UAV, photogrammetry, digital surface model, asphalt pavement volume, ground control points, road infrastructure monitoring.

1. Введение

Развитие дорожной инфраструктуры Казахстана требует оперативного и точного контроля объёмов выполненных работ. Традиционные геодезические методы (тахеометрия, нивелирование) обеспечивают высокую точность, но отличаются значительной трудоёмкостью и дискретностью измерений. Современные технологии беспилотных летательных аппаратов в сочетании с фотограмметрической обработкой позволяют получать высокодетализированные ортофотопланы и трёхмерные модели поверхности, обеспечивая сплошное покрытие территории и существенное сокращение затрат времени и труда.

Цель настоящей работы — разработка и экспериментальная апробация методики определения объёмов асфальтового покрытия с использованием данных аэрофотосъёмки, отвечающей требованиям исполнительной съёмки при минимальной трудоёмкости полевых работ.

2. Материалы и методы исследования

Методика основана на двухэтапной аэрофотосъёмке: первый этап проводится по подготовленному основанию до укладки асфальта, второй — после завершения устройства верхнего слоя покрытия. Такой подход позволяет зафиксировать изменение геометрии поверхности с высокой точностью.

Съёмка выполнялась с помощью БПЛА DJI Phantom 4 Pro с высоты 150 м. Параметры съёмки: продольное перекрытие снимков — 80 %, поперечное — 70 %, размер пикселя на местности (GSD) — около 4,1 см/пикс. Плотность результирующего облака точек составила 75–100 точек/м². Для геодезической привязки была создана сеть наземных опорных точек (GCP), координаты которых определены в системе WGS-84 (зона UTM 44N). Съёмка проводилась в благоприятных погодных условиях (отсутствие сильного ветра и осадков).

Таблица №1

Параметры аэрофотосъёмки

Параметр	Значение
Тип БПЛА	DJI Phantom 4 Pro
Высота полёта	150 м
Продольное перекрытие	80 %
Поперечное перекрытие	70 %
GSD	~4,1 см/пикс.
Плотность облака точек	75–100 точек/м²
Система координат	WGS-84 (UTM 44N)

Камеральная обработка включала выравнивание снимков, генерацию плотного облака точек, построение цифровой модели поверхности (ЦМП) и ортофотоплана в программе Agisoft Metashape. Векторизация границ покрытия и расчёт площадей выполнялись в AutoCAD. Общая площадь оцифрованного участка составила 9003,09 м².

Объём уложенного асфальта (V) рассчитывался по формуле интегральной разности двух цифровых моделей поверхности:

$$V = \sum_{i=1}^{n} (Z_{2i} - Z_{1i}) * S_{px}$$

где (Z2i) — высотная отметка поверхности покрытия, (Z1i) — отметка основания, (n) — количество ячеек модели, (Spx) — площадь одной ячейки (пикселя).

Точность результатов оценивалась путём расчёта среднеквадратического отклонения (СКО) плановых и высотных координат в соответствии с нормативными требованиями к исполнительной съёмке.

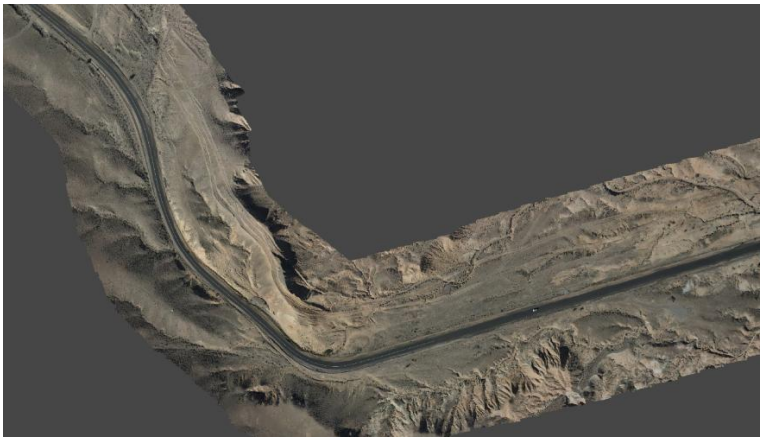


Рис.1: Ортофотоплан

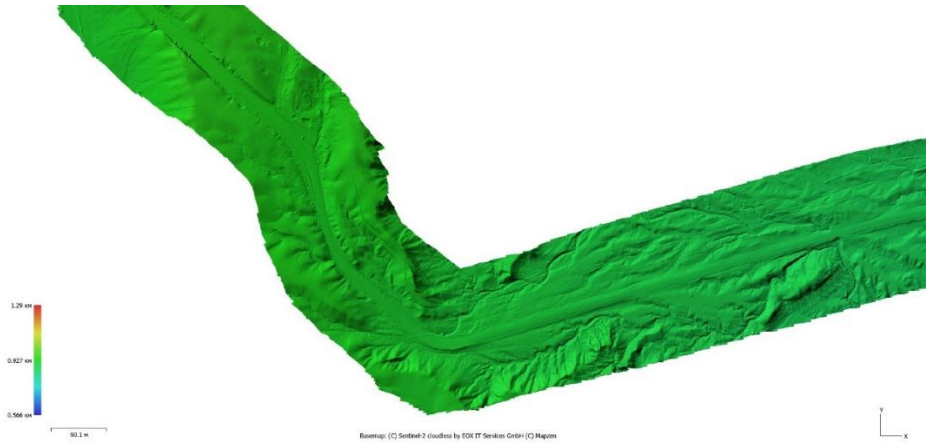


Рис.2 - ЦММ

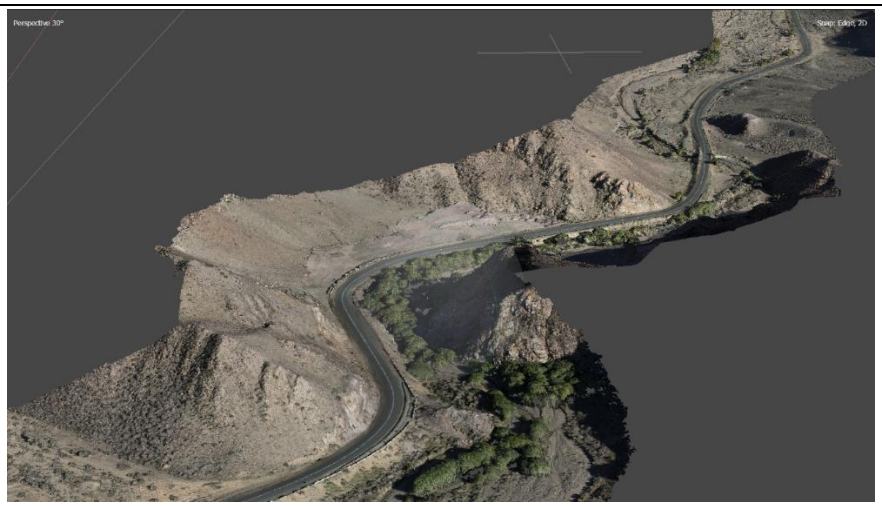


Рис.3 – 3D модель местности

3. Результаты и их обсуждение

Экспериментальная апробация методики проведена на 30-километровом участке автомобильной дороги в районе г. Жаркент. При проектной толщине асфальтобетонного слоя 0,05 м расчётный объём составил 450,15 м³. Достигнутые показатели точности полностью соответствуют инженерным требованиям:

- СКО по плану — 0,04–0,05 м;
- СКО по высоте — 0,06–0,07 м;
- погрешность определения площади — не более ±0,5 %.

Расхождение фактического объёма с проектными значениями не превысило 2 %. Трудоёмкость полевых геодезических работ снизилась в 3,5–4 раза по сравнению с традиционными методами тахеометрии и нивелирования.

Преимущества предложенной методики заключаются в переходе от дискретных измерений к сплошному покрытию территории, что исключает ошибки интерполяции между поперечниками и устраняет «слепые зоны». Совместное использование Agisoft Metashape и AutoCAD обеспечивает удобство анализа данных и возможность многократной проверки результатов.

Ограничения метода связаны с зависимостью от погодных условий и необходимостью точной установки наземных опорных точек. В перспективе возможно дополнение методики алгоритмами автоматической векторизации и интеграцией с системами информационного моделирования (BIM) для полной автоматизации создания исполнительной документации.

Рис.№4: Исполнительная схема

Таблица №2

Основные результаты расчёта объёма и точности

Показатель	Значение
Оцифрованная площадь	9003,09 м²
Рассчитанный объём асфальта	450,15 м³
СКО плановых координат	0,04–0,05 м
СКО высотных координат	0,06–0,07 м
Погрешность площади	≤ ±0,5 %
Отклонение от проектного объёма	< 2 %
Снижение трудоёмкости	3,5–4 раза

4. Выводыs

Разработанная методика определения объёмов асфальтового покрытия с применением БПЛА и фотограмметрической обработки продемонстрировала высокую эффективность и точность, полностью удовлетворяющую требованиям технического контроля дорожного строительства. Переход к сплошным цифровым моделям поверхности позволяет значительно сократить трудозатраты при сохранении требуемой геодезической точности. Предлагаемый подход рекомендуется для широкого внедрения в практику мониторинга и контроля качества автомобильных дорог в Республике Казахстан и других странах.

Список литературы

1. WestSurvey (ТОО). Практические материалы по определению фактической площади асфальтового покрытия по данным аэрофотосъёмки с БПЛА. – Алматы: WestSurvey, 2023–2026.

2. Рысбеков К.Б., Ержанқызы А. и др. Технологии сбора геопространственных данных для создания ЦМР при реконструкции автомобильных дорог // Материалы диссертационных исследований Satbayev University. – Алматы, 2023–2024.

3. Маслов Е.Б. и др. Инженерная геодезия. – М., 2016.

4. Colomina I., Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2014.

5. Nex F., Remondino F. UAV for 3D mapping applications // Applied Geomatics. – 2014.

6. Лобанов А.Н. Фотограмметрия. – М., 2018.

7. Харичкин А.И. и др. Применение современных методов аэрофотосъёмки на основе БПЛА для проектирования инженерной защиты // Вестник строительства. – 2021. – № 2. – С. 45–56.

8. Ворсин Н.Е. и др. Применение БПЛА в проектировании и строительстве автомобильных дорог // Вестник СибАДИ. – 2024. – Т. 21. – № 1. – С. 28–38.

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ЖЕРЛЕРІНІҢ ӨНІМДІЛІГІН АРТТЫРУДА ЖАҢА ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНУ

Рахадилова А.Қ.
магистрант, Satbayev University, Алматы, Қазахстан
Нұрпейісова М.Б.
техн.ғылымд.докторы, профессор, Satbayev University Алматы, Қазахстан

INCREASING THE PRODUCTIVITY OF AGRICULTURAL LANDS BASED ON REMOTE SENSING OF THE EARTH

Rakhadilova A.
Master's student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
Nurpeissova M.
Doctor of Technical Sciences, Professor Satbayev, University, Almaty, Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.20152203

Аннотация

Ұсынылып отырған бұл мақала Қазақстан Республикасының маңызды өңірлерінің бірі – Алматы облысындағы ауыл шаруашылық жерлерін пайдаланудың тиімділігін арттыруға арналған. Жұмыста жер сапасын бағалау, өнімділігі мен ерекшеліктерін зерттеу, сондай-ақ жерді қашықтықтан зондтау әдістерін қолдану мәселелері қарастырылады. Зерттеу барысында ауыл шаруашылық мақсатындағы жерлердің жай-күйін мониторингтеу, олардың сапасына әсер ететін факторлар, аэрофарыштық түсірістердің жер пайдалану саласындағы рөлі қамтылған. Сонымен қатар, қашықтықтан зондтау деректерін пайдалану, аэросуреттерді өңдеу және ГАЖ технологияларын қолдану арқылы ауыл шаруашылық жерлерін тиімді пайдаланудың әдістері ұсынылады.

Abstract

This article is devoted to improving the efficiency of agricultural land use in one of the important regions of the Republic of Kazakhstan — the Almaty region.. The study examines issues related to land quality assessment, productivity, and land use features, as well as the application of remote sensing methods. The research includes monitoring the state of agricultural lands, factors affecting their quality, and the role of aerial imagery in sustainable land management. It covers the use of remote sensing data, aerial image processing, and GIS technologies to enhance the efficiency of agricultural land use.

Түйінді сөздер: ЖҚЗ; ГАЖ; қалалық ландшафт; NDVI; NDBI; MNDWI; LST; өзгерістерді анықтау; AHP; Weighted Overlay; ArcGIS; QGIS.

Keywords: Remote Sensing; GIS; инженерно-геодезические измерения, приборы, поверки, ошибки измерений, устранение.

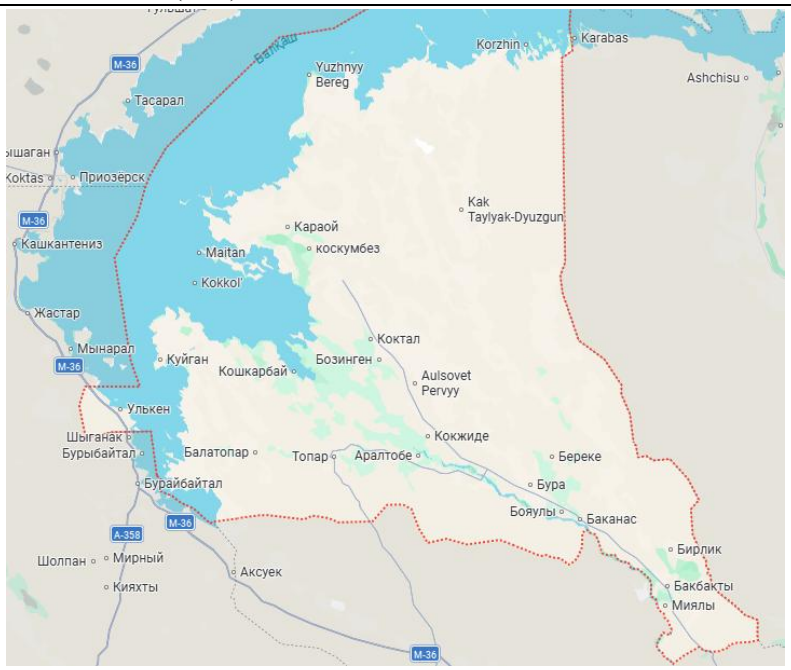
1. Кіріспе

Қазақстан Республикасының жер ресурстарының маңызды бөлігін ауыл шаруашылық жерлері құрайды. Ауыл шаруашылық жерлерін тиімді пайдалану – олардың өнімділігін арттыру, табиғи ресурстарды ұтымды қолдану және экологиялық тепе-теңдікті сақтау үшін аса маңызды. Қазіргі таңда ауыл шаруашылық жерлерінің жай-күйін бағалау мен мониторинг жүргізудің тиімді әдістерінің бірі – жерді қашықтықтан зондтау технологиялары. Бұл әдіс арқылы топырақтың құнарлылығын, өсімдік жамылғысының өзгерісін, ылғалдылық деңгейін, эрозияға ұшыраған және бүлінген жерлерді анықтауға мүмкіндік береді[1]

Жұмытың өзектілігі. Алматы облысы – Қазақстанның ауыл шаруашылығына арналған негізгі аймақтарының бірі болғандықтан, бұл өңірдегі жер сапасын арттыру және оларды тиімді басқару мәселесі ерекше өзекті болып табылады. Бүгінде ауыл шаруашылық жерлерін пайдалану барысында су және жел эрозиясы, топырақтың тұздануы, шөлейттену, су көздерінің тапшылығы сияқты мәселелер кездеседі. Осындай факторлар өнімділікті төмендетіп, жер ресурстарының тозуына алып келеді. Қашықтықтан зондтау технологияларын қолдану – бұл процестерді

Бұл зерттеудің мақсаты – Алматы облысы ауыл шаруашылық алқаптарының динамикасын Жерді қашықтан зондтау (ЖҚЗ) және ГАЖ негізінде бағалаудың әдістемелік үлгісін ұсыну.

Жалпы Балқаш ойысы геологиялық тұрғыдан жеткілікті деңгейде жақсы зерттелген (1.1 - сурет). Оның бүкіл аумағы 1:200000 масштабындағы геологиялық түсіріліммен қамтылып орындалған, ал кейбір бөліктерінде 1:50000 және одан да ірі масштабтағы түсірілімдер жүргізілген. Сонымен қатар Балқаш ауданының негізгі топырақ жамылғысы құмдақ және тақырлық топырақтар, өзен арналары мен жайылымдарында шалғынды-сазды топырақ қалыптасқан (1.2 - сурет).



Сурет 1 – Балқаш ауданының геологиялық шолу картасы

Балхаш ауданы экономикасының негізгі саласы – ауыл шаруашылығы. Өсімдік шаруашылығында тәлімі және суғармалы егін шаруашылығы қалыптасқан

Адамдардың әрекет етуі үшін топырақтың қызметі мен рөлі үлкен мәнге ие. Топырақтың құнарлы қабаты ұлттық байлық болып табылады. Топырақ ауылшаруашылығы өндірісінің негізі құралы екені айқын маңызға ие екенін білеміз, сол себепті ауданның топырақ жамылғысы түрлерін білу маңызды. Сонымене қатар, су ресурстарын дұрыс басқару және ауыл шаруашылығында су үнемдеу технологияларын қолдану бұл аймақ үшін өте маңызды[2].

Маңыздылығы:

1. Ауыл шаруашылығы үшін – Жауын-шашын жергілікті егіншілік пен мал шаруашылығы үшін маңызды су көзі болып табылады. Балқаш ауданының климаты құрғақ болғандықтан, жауын-шашын топырақтың ылғалдылығын сақтауға көмектеседі;

2. Экожүйені қолдау – Табиғи өсімдіктер мен жануарлар үшін жауын-шашын негізгі ылғал көзі болып табылады. Су тапшылығы шөлейттенуге әкелуі мүмкін;

3. Су ресурстарының толығуы – Өзендер мен көлдерге келетін судың бір бөлігі жауын-шашын есебінен толығады. Бұл Балқаш көлінің деңгейіне де әсер етеді.

Ауыл шаруашылығына жаңа технологияларды белсенді түрде енгізу қажет (2 - сурет). Бұл бөлімде минералды тыңайтқыштардың жетіспеушілігі және агросектордың осыған тәуелділігі туралы айтылады. Биыл тыңайтқыш қолдану екі есеге артқанымен, бұл қажетті мөлшердің тек 41%-ын ғана құрайды. Импортқа тәуелділікті азайту үшін 4 миллиард долларлық инвестициялық жобалар іске асырылып жатыр, оның арқасында 7 миллион тонна тыңайтқыш өндіріледі деп жоспарланып отыр. Бұл ішкі нарықты толық қамтамасыз етуге және экспортқа шығаруға мүмкіндік береді. Органикалық тыңайтқыштарды, мысалы, қой жүнін пайдалануды дамытудың маңыздылығы атап өтілген[3].

Сурет 2 – Ауыл шаруашылығына жаңа технологияларды белсенді түрде енгізу

Ауданның негізгі байлығы – егістік алқаптары. 2024 жылы 28 мың гектардан астам жерге егін егілді, оның ішінде күріш басты дақыл ретінде 7 мың гектарға жуық жерге себілді. Әрі қарай осы егілген дақылдардың өнімділігіне баға беру мақсатына қашықтықтан зондтау (ҚЗ) технологияларын қолданып зерттелді..

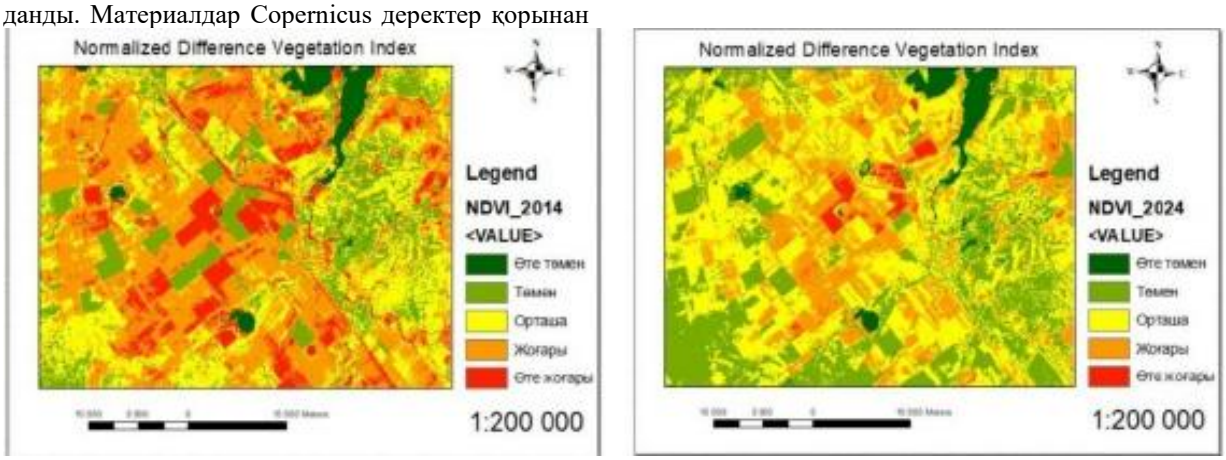
Зерттеу кезеңі – 2014–2024 жылдар. Зерттеу үшін Copernicus бағдарламасынан Sentinel-2 және Landsat спутниктерінен алынған деректер ArcGIS Pro бағдарламаларында өңделді. Талдау барысында төрт негізгі индекс есептелді: NDVI, SAVI, NDRE және NDMI.

Деректер спутниктік суреттер негізінде талданды. Материалдар Copernicus деректер қорынан (https://dataspace.copernicus.eu) жүктелді. 2014 жылы Sentinel-2 спутнигінің деректері болмағандықтан, сол кезең үшін Landsat-8 спутнигінің материалдары пайдаланылды.

Анализ ArcGIS Pro бағдарламасы арқылы жүргізілді. Растрлық есептеулер Raster Calculator құралында жасалды. Нәтижелер .tif форматында сақталып, әр жылға төрт картадан дайындалды. Жалпы есеппен 40 карта құрылды [4].

Зерттеу барысында келесі индекстер есептелді:

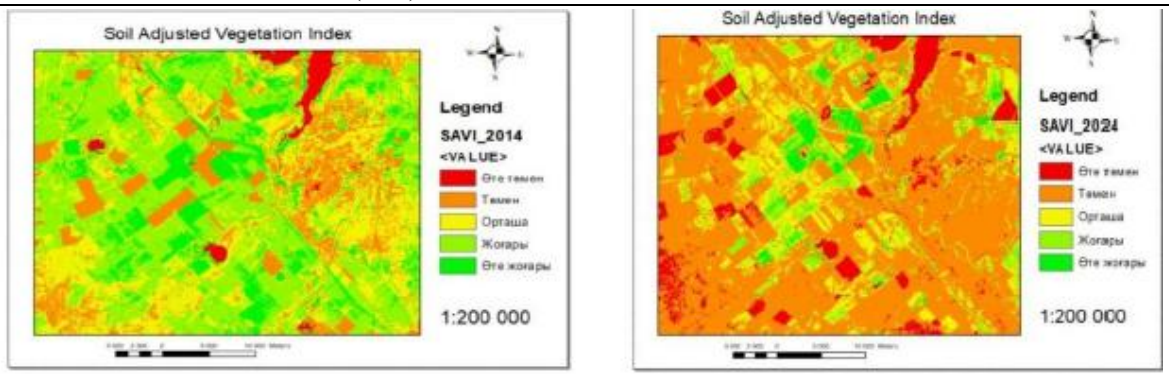
NDVI = (B8 - B4) / (B8 + B4) – өсімдіктердің жасыл биомассасын көрсетеді.



Сурет 3 – 2014 және 2024 жылғы NDVI көрсеткішінің нәтижесі

2014 жылы NDVI орташа мәні 0.22 болса, 2024 жылы бұл көрсеткіш 0.31-ге дейін өсті. Яғни, өсімдіктердің вегетациялық жағдайы жақсарып, 9 жыл ішінде көрсеткіш 41%-ға артты. Ең төмен мәндер 2014–2015 жылдары байқалды, бұл кезеңдегі көрсеткіштер құрғақшылық немесе өнімділіктің төмен болуына байланысты болуы мүмкін. Жалпы алғанда, өсімдік жамылғысы қалпына келіп, ауылшаруашылық жерлердің өнімділігі артқаны байқалады.

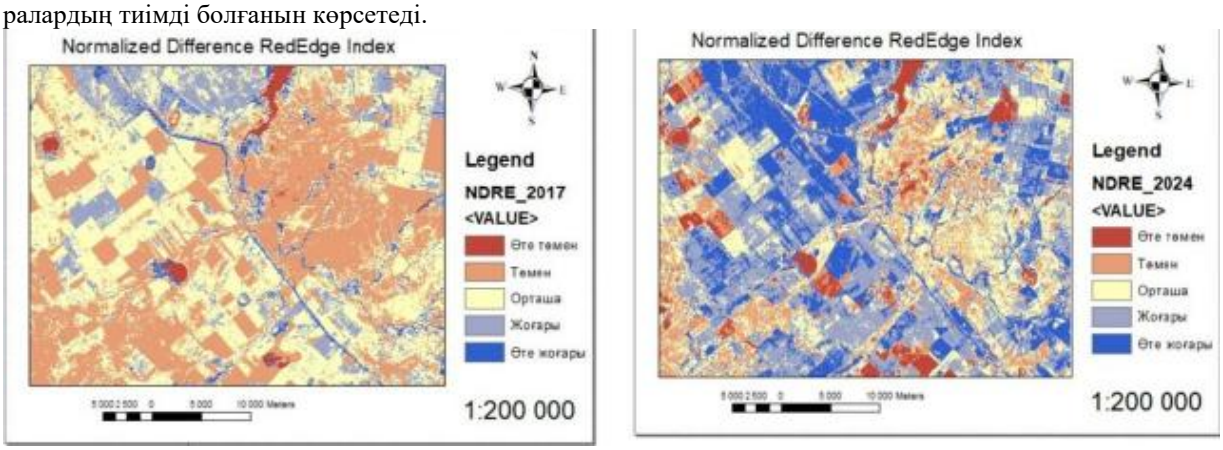
SAVI = ((B8 - B4) / (B8 + B4 + 0.5)) × 1.5 – топырақтың әсерін ескеретін вегетациялық индекс.



Сурет 4– 2014 және 2024 жылғы SAVI көрсеткішінің нәтижесі

SAVI индексі 2014 жылы 0.15 болса, 2024 жылы 0.25-ке дейін өсті. Бұл 66% өсім. SAVI индексі топырақтың әсерін ескеретіндіктен, оның өсуі топырақ жағдайының жақсарғанын және ауыл шаруашылығында қолданылған агротехникалық шаралардың тиімді болғанын көрсетеді.

NDRE = (B8 - B5) / (B8 + B5) – фотосинтез белсенділігі мен хлорофилл мөлшерін сипаттайды.



Сурет 5 – 2017 және 2024 жылғы NDRE көрсеткішінің нәтижесі

NDRE индексі 2015–2017 жылдары салыстырмалы түрде төмен деңгейде болды, ал 2020 жылдан кейін өсімдіктердің фотосинтез белсенділігі артқаны байқалады. 2014 жылы NDRE мәні 0.18 болса, 2024 жылы 0.30-ға жетіп, 66,6% өсім көрсетті. Бұл өсімдіктердегі хлорофилл мөлшерінің артқанын, олардың физиологиялық жағдайының жақсарғанын және ауылшаруашылық дақылдарының денсаулығы оң нәтижелер көрсетіп жатқанын білдіреді [5].

2024 жылы ұзақ уақыт пайдаланылмағаны үшін Балқаш ауданы әкімдігінің қаулысымен шаруа қожалығын жүргізу үшін 10 жыл мерзімге уақытша өтеулі жер пайдалануға берілген 3000 гектар жер учаскесі мемлекеттік меншікке қайтарылды. Балқаш көлі аймағында 60 гектар бос жер телімі анықталып, кәсіпкерлерге аукцион арқылы ұсынылды. Бұл шара көл маңындағы инфрақұрылымды дамытуға және туристік әлеуетті арттыруға бағытталған.

Жүргізілген талдау нәтижелері бойынша ұсыныстар (3.8 - сурет):

Сурет 6 – Ауданды дамытуға арналған ұсыныстар

Қорытынды

Орындалған жұмыста тек өткен уақыт мәліметтері мен көрсеткіштері жайлы талдау, зерттеу жұмыстары ғана емес болашақтада келер маңызы үлкен жоспарлы жайттар болжамдалды, атап өткенде салынып жатқан АЭС дәл біз қарастырып отырған аумаққа жанасып орналасқандықтан, бұл соның тигізер әсері де қамтылды. Жалпы алғанда, жүргізілген зерттеулер Балқаш ауданының жер қорларын тиімді басқарудың маңыздылығын тағы бір рет дәлелдеп берді. Ауыл шаруашылығы жерлерін ұтымды пайдалану, пайдаланылмай жатқан жерлерді айналымға енгізу, экологиялық тепе-теңдікті сақтау және цифрлық технологияларды енгізу ауданның әлеуметтік-экономикалық дамуын одан әрі нығайтуға ықпал етеді.

Пайдаланылған әдебиеттер

1.Республика Казахстан. Окружающая среда и экология. Т. 3 / под ред. Медеу А.Р. – 2-е изд. – Алматы, 2010. – С. 366–367. https://elib.kaznu.kz. 2022 жылға арналған қоршаған ортаның жай-күйі туралы және Қазақстан Республикасының табиғи ресурстарын пайдалану туралы ұлттық баяндама. – Астана, 2023. https://ecogosfond.kz/kz.

2. Мониторинг земель в Республике Казахстан (состояние и перспективы развития) / под ред. Оспанова Б.С., Дюсенбекова З.Д. – Астана: ГосНПЦзем, 2001. – 104 с. Спектор М.Д. Оценка использования земельных ресурсов. – Астана, 2016. – С. 264–273.

3. Ерохина О.Г., Кусаинова М.М., Соколов А.А., Пачикин К.М. Почвы Казахстана. Природные условия и ресурсы. – Алматы, 2006. – С. 316–361.

4. Белим С.В., Бречка Д.М., Горбунова Т.А., Ларионов И.Б., Шмидт И.В. Интеллектуальная геоинформационная система археологических объектов. – Омск, 2016. – С. 119–126.

5. Әлімхан Б., Еркін А. Қазақстандағы ауыл шаруашылығы жерлерін цифрлық бақылау жүйесі. – Алматы: Қазақ университеті, 2020. – 112 б.

СНИЖЕНИЕ ПРОДУВАЕМОСТИ КАК ФАКТОР УХУДШЕНИЯ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ГОРОДЕ АЛМАТЫ

Сакенова С.С.
магистрант, Satbayev University, Алматы, Казахстан
Ержанқызы А.
PhD, старший преподаватель, Satbaye University, Алматы, Казахстан

REDUCTION IN AIR VENTILATION AS A FACTOR IN THE DETERIORATION OF ATMOSPHERIC AIR QUALITY IN THE CITY OF ALMATY

Sakenova S.S.
Master's student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
Yerzhankyzy A.
PhD, Senior Lecturer, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.20152221

Аннотация
Алматы в контексте влияния городской застройки на естественную продуваемость территории. Проанализированы основные загрязняющие вещества, включая взвешенные частицы PM2.5 и диоксид азота (NO_2), а также особенности их накопления в приземном слое атмосферы.

Abstract
This study addresses the problem of air pollution in Almaty in the context of the impact of urban development on natural ventilation. The main pollutants, including particulate matter (PM2.5) and nitrogen dioxide (NO_2), and their accumulation in the near-surface atmosphere are analyzed.

Ключевые слова: Алматы, загрязнение воздуха, продуваемость, PM2.5, NO_2, городская застройка, ветровые потоки, горно-долинная циркуляция, аэрация.

Keywords: Almaty, air pollution, urban ventilation, PM2.5, NO_2, urban morphology, wind flow, mountain-valley circulation.

Введение. Проблема загрязнения атмосферного воздуха является одной из наиболее актуальных экологических и социальных проблем современных городов. В крупных урбанизированных территориях ухудшение качества воздуха обусловлено не только ростом антропогенной нагрузки, но и особенностями пространственной организации городской среды.

Город Алматы характеризуется сложными природно-климатическими условиями, обусловленными его расположением у подножия гор Тянь-Шаня. Орографические особенности территории, а также формирование горно-долинной циркуляции существенно влияют на процессы переноса и рассеивания загрязняющих веществ [1]. При неблагоприятных метеорологических условиях, таких как слабый ветер и температурные инверсии, в городе формируются устойчивые зоны застоя воздуха, что способствует накоплению вредных примесей в приземном слое атмосферы.

Существенную роль в ухудшении экологической ситуации играет трансформация городской застройки. В советский период градостроительное планирование учитывало климатические особенности территории, включая направления преобладающих ветров и необходимость обеспечения аэрации городской среды. Однако в постсоветский период наблюдается значительное уплотнение застройки, рост этажности и нарушение пространственной структуры города, что приводит к снижению продуваемости и ухудшению условий вентиляции [3].

Современные исследования показывают, что морфология городской застройки оказывает значительное влияние на ветровой режим и процессы рассеивания загрязняющих веществ [2]. Плотная застройка способствует блокировке воздушных потоков, формированию турбулентных зон и возникновению эффекта «уличных каньонов», что приводит к накоплению загрязнений и ухудшению микроклимата городской среды.

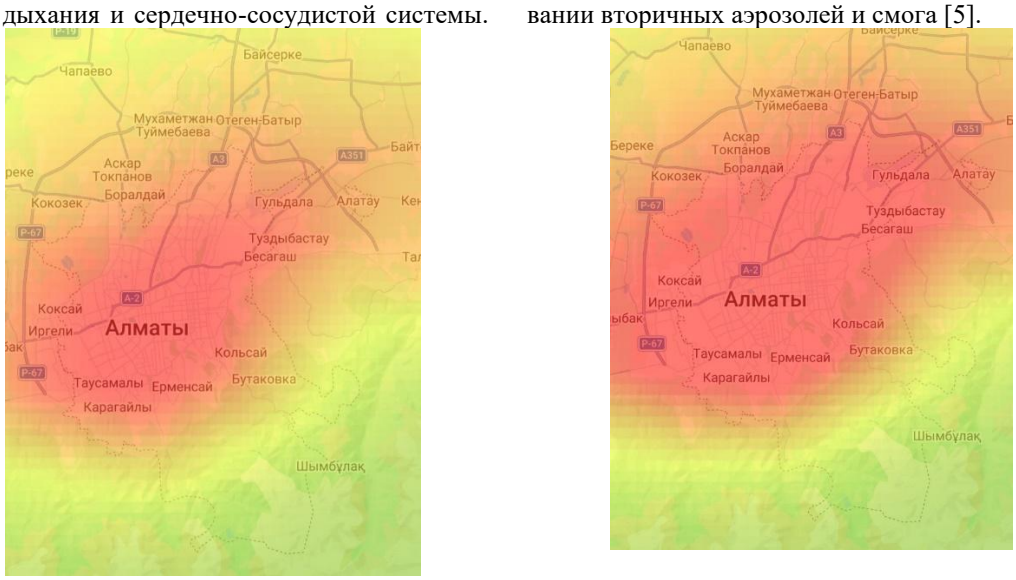
В связи с этим целью данной работы является анализ влияния городской застройки на продуваемость территории города Алматы и выявление факторов, способствующих ухудшению качества атмосферного воздуха.

1. Проблема загрязнения воздуха в городе Алматы

Город Алматы на протяжении последних десятилетий сталкивается с выраженной проблемой загрязнения атмосферного воздуха, проявляющейся в регулярном образовании смога и превышении допустимых концентраций загрязняющих веществ. Согласно исследованиям, уровень загрязнения воздуха в городе имеет устойчивую тенденцию к росту, что связано как с природными, так и с антропогенными факторами [1, 4, 5].

Смог в Алматы формируется в результате накопления загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы при неблагоприятных метеорологических условиях, прежде всего при слабом ветре и температурных инверсиях. Ключевыми загрязнителями являются взвешенные частицы PM2.5 и диоксид азота (NO_2).

PM2.5 представляют собой мелкодисперсные твердые частицы диаметром менее 2.5 мкм, способные проникать глубоко в дыхательные пути и кровеносную систему человека, вызывая заболевания органов дыхания и сердечно-сосудистой системы. Диоксид азота (NO_2) является газообразным загрязнителем, образующимся преимущественно при сгорании топлива, и способствует развитию воспалительных процессов, а также участвует в формировании вторичных аэрозолей и смога [5].



а) 2019 *б) 2024*

Рисунок 1 – Содеражание NO_2 за 2019 и 2024 года

2. Географические особенности и их влияние на продуваемость

Одной из ключевых причин ухудшения качества воздуха в Алматы является его географическое положение. Город расположен у подножия гор Тянь-Шаня и фактически находится в орографически ограниченной территории, что часто описывается как «котловинный» эффект.

Такая конфигурация рельефа существенно ограничивает горизонтальный перенос воздушных масс и снижает интенсивность естественной вентиляции. В условиях слабых ветров загрязняющие вещества не рассеиваются, а накапливаются в приземном слое атмосферы, формируя устойчивые зоны загрязнения.

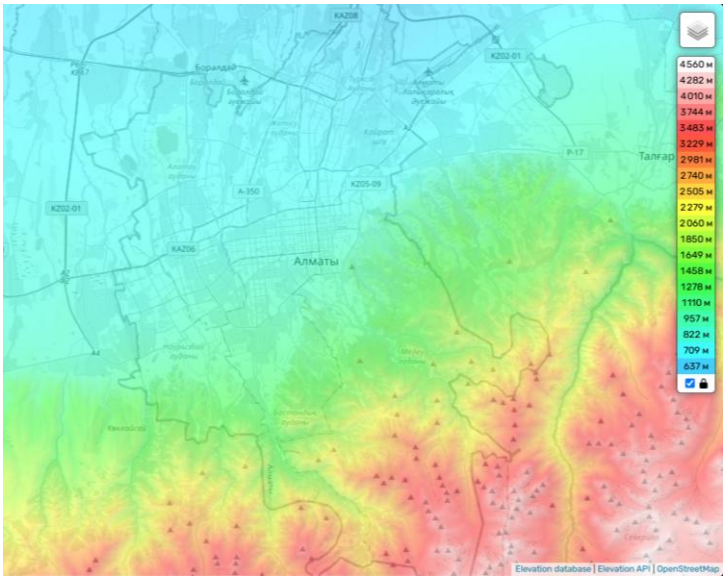


Рисунок 2 – Карта рельефа города Алматы

3. Урбанизация и изменение структуры застройки

Существенное ухудшение экологической ситуации в Алматы наблюдается с конца XX века, особенно после распада СССР, когда изменилась структура и интенсивность застройки города. В советский период градостроительное планирование осуществлялось с учетом климатических факторов, включая розу ветров и особенности местной циркуляции воздуха.

Городская планировка предусматривала сохранение аэрационных коридоров и ориентирование уличной сети в соответствии с преобладающими направлениями ветра, что способствовало лучшей продуваемости территории.

В постсоветский период наблюдается переход к более интенсивной и фрагментированной застройке, сопровождающейся увеличением плотности зданий, ростом этажности и нарушением пространственной структуры города. Это приводит к частичному перекрытию естественных путей движения воздушных масс и ухудшению условий вентиляции [3].

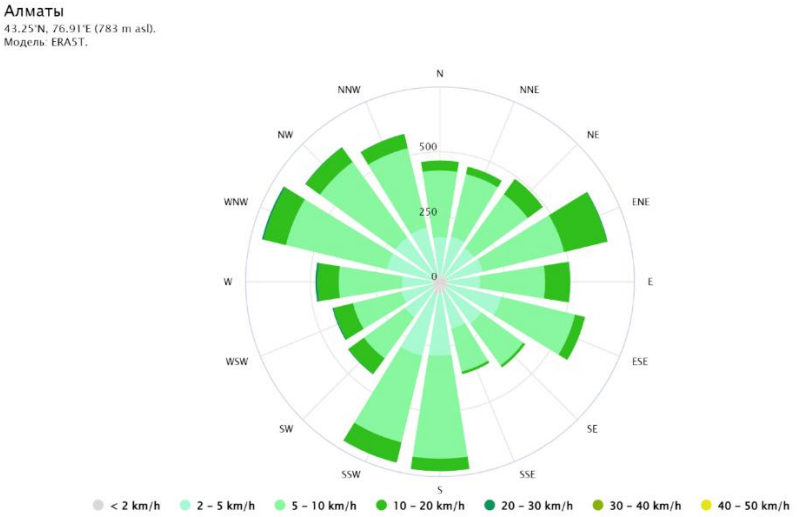


Рисунок 3 – Роза ветров города Алматы

4. Влияние застройки на ветровые потоки

Современные исследования показывают, что морфология городской застройки оказывает существенное влияние на ветровой режим и условия аэрации городской среды [2]. Основные механизмы воздействия включают:

- Блокировку воздушных потоков — плотная и высокоэтажная застройка увеличивает аэродинамическую шероховатость поверхности и снижает скорость ветра;
- Формирование турбулентных зон — здания создают вихревые структуры, нарушающие упорядоченное движение воздушных масс;
- Эффект «уличных каньонов» (street canyon) — узкие улицы, окруженные высокими зданиями, препятствуют вертикальному и горизонтальному обмену воздуха.

В результате указанных процессов снижается эффективность рассеивания загрязняющих веществ, что способствует их накоплению в городской среде и усилению негативного воздействия на здоровье населения [2, 3].

Выводы. Таким образом, ухудшение качества атмосферного воздуха в Алматы обусловлено сочетанием природных факторов (рельеф, горно-долинная циркуляция) и антропогенных изменений, связанных с трансформацией городской застройки. Рост плотности и изменение морфологии застройки приводят к снижению продуваемости городской среды и формированию зон застоя воздуха, в которых происходит накопление загрязняющих веществ.

В связи с этим перспективным направлением исследований является количественная оценка влияния городской морфологии на ветровой режим с использованием методов численного моделирования. Применение инструментов, таких как Rhino + Grasshopper + Ladybug Tools, позволяет детально анализировать распределение скоростей ветра, выявлять зоны турбулентности и оценивать условия аэрации городской среды.

Список литература

1. Зинединов Д. Т., Сарсенбаева А. Н. Экология Алматы // Проблемы геологии и освоения недр. – Томск, 2017

2. Why wind comfort is so important [Электронный ресурс]. – URL: https://skyarchschool.ru/why_wind_comfort_is_so_important

3. Kiseleva O. V., Savelyeva E. D. Forecasting the ecological situation using GIS technologies [Электронный ресурс]. – URL: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/

4. Almaty Air Initiative. Как алматинцы видят смог [Электронный ресурс]. – URL: https://air.org.kz/project/kak-almatintsy-vidyat-smog-rezultaty-ezhegodnogo-issledovaniya-almaty-air-initiative/

5. В Алматы значительно вырос уровень загрязнения воздуха [Электронный ресурс]. – URL: https://www.kt.kz/rus/ecology/v_almaty_znachitelno_vyros_uroven_zagryazneniya_vozduha_1377973347.html

6. Численный анализ влияния горно-долинной циркуляции на загрязнение атмосферного воздуха города Алматы [Электронный ресурс]. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/chislennyy-analiz-vliyaniya-gorno-dolinnoy-tsirkulyatsii-na-zagryaznenie-atmosfernogo-vozduha-goroda-almaty

КЕН ОРЫНДАРЫ АЙМАҚТАРЫНДА ЖЕР БЕТІНІҢ ОПЫРЫЛУ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ

Серік А.
магистрант, Satbaye University, Алматы, Казахстан
Айтказинова Ш.К.
PhD, профессор, Satbayev University, Алматы, Казахстан

STUDY OF THE PROCESS OF GROUND SURFACE SUBSIDENCE IN MINING AREAS

Serik A.
Master's student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
Aitkazinova Sh.
PhD, Professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.20152295

Аннотация

Мақалада жерасты тау-кен жұмыстары жүргізілетін кен орындары аймақтарында жер бетінің опырылу процесін зерттеу мәселелері қарастырылған. Жер қойнауын игеру барысында тау жыныстарының кернеу күйінің өзгеруі, жерасты қуыстарының пайда болуы және геодинамикалық процестердің дамуы нәтижесінде жер бетінің деформациясы мен опырылу құбылыстары қалыптасады. Зерттеу барысында қолданылатын геодезиялық мониторинг әдістері, спутниктік өлшеулер және қашықтықтан зондтау технологияларының әдістері қарастырылып, сонымен қатар опырылу қауіпті аймақтарын анықтау және олардың таралуын болжау тәсілдері талданды.

Abstract

The article examines issues related to the study of ground surface subsidence processes in mining areas where underground mining operations are conducted. During the exploitation of subsurface resources, changes in the stress state of rock masses, the formation of underground voids, and the development of geodynamic processes lead to surface deformation and subsidence phenomena. The study considers geodetic monitoring methods, satellite measurements, and remote sensing technologies used in research. In addition, approaches for identifying subsidence-prone areas and predicting their distribution are analyzed.

Түйін сөздер: кен орны, жерасты тау-кен жұмыстары, жер бетінің деформациясы, опырылу, геодезиялық мониторинг.

Keywords: deposit, underground mining, ground surface deformation, subsidence, geodetic monitoring.

Кіріспе

Жерасты тау-кен жұмыстары барысында тау жыныстары массивінде бос кеңістіктердің пайда болуы жер қыртысының табиғи тепе-теңдігін бұзады. Мұндай жағдайларда тау жыныстарының кернеулі-деформацияланған күйі өзгеріп, жер бетінің шөгуі немесе опырылуы байқалады. Бұл құбылыстар кен орындарын игеру аймақтарында жиі кездесетін қауіпті геомеханикалық процестердің бірі болып табылады.

Жер бетінің опырылуы көбінесе тау-кен қазбаларының әсерінен пайда болған қуыстардың құлауы нәтижесінде қалыптасады. Мұндай процестер кен орындарының инфрақұрылымына, көлік жолдарына және өндірістік объектілерге айтарлықтай қауіп төндіреді. Сондықтан жер бетінің опырылу қаупін алдын ала анықтау және қауіпті аймақтарды белгілеу тау-кен өндірісіндегі маңызды ғылыми-тәжірибелік міндеттердің бірі болып табылады.

Жерасты тау-кен жұмыстары кезінде пайдалы қазбаларды өндіру барысында жер қойнауында әртүрлі көлемдегі бос кеңістіктер пайда болады. Бұл кеңістіктер тау жыныстарының құрылымдық байланысын бұзып, олардың тұрақтылығын төмендетеді.

Тау жыныстарының тұрақсыздануы нәтижесінде:

– жарықшақтар пайда болады;

– жыныстардың ығысуы байқалады;

– жер бетінің шөгуі дамиды;

– кей жағдайларда жер бетінде опырылу шұңқырлары қалыптасады.

Бұл процестердің даму қарқыны тау жыныстарының физика-механикалық қасиеттеріне, кен орнының геологиялық құрылымына және тау-кен жұмыстарының технологиясына байланысты болады.

Нәтижесінде табиғи жарықшақтардың таралуы, тау жыныстарының дезинтеграция аймақтарының пайда болуы және жыныстардың жылжу процестері байқалады. Кейбір жағдайларда бұл құбылыстар жыныстардың кен қазбаларына кенеттен және бақылаусыз құлауына әкелуі мүмкін [1].

Осындай процестердің аяқ асты және қарқынды дамуы жер бетінің деформациясын туғызып, жекелеген учаскелерде оның шөгуіне немесе опырылуына себеп болады.

Қазақстандағы опырылу құбылысының айқын мысалдарының бірі – Павлодар облысындағы Майқайың кен орнында болған опырылу жағдайы (1 сурет). 2024 жылы Майқайың алтын кен орнында жер бетінде ірі опырылу шұңқыры пайда болды. Бұл жағдай жерасты кен өндіру жұмыстарының әсерінен тау жыныстары массивінің тұрақсыздануымен байланысты болды.

1 сурет – *Майқайың кен орнындағы опырылу жағдайы*

Опырылу нәтижесінде:

– жер бетінде үлкен кратер пайда болды;

– кен орны аумағында төтенше жағдай қалыптасты;

– өндірістік инфрақұрылымға қауіп төнді.

Бұл оқиға жерасты тау-кен жұмыстары жүргізілетін аймақтарда геомеханикалық процестерді тұрақты бақылаудың маңызды екенін көрсетеді. Майқайың кен орнында болған жағдай жер бетінің опырылу қаупін алдын ала болжау және қауіпті аймақтарды анықтау әдістерін жетілдіру қажеттігін дәлелдей түсті.

Кен орындарын игеру барысында опырылу қаупін бағалау әдетте үш негізгі кезеңнен қалыптасады: опырылу процесін болжау [2,3], оқиғаның қауіптілік деңгейін бағалау [4] және бұрын болған опырылуларды ретроспективті талдау [5]. Опырылу жағдайларын зерттеу және жерасты қуыстарын картографиялау нәтижесінде алынған мәліметтер қауіптілігі жоғары аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді [6].

Жер бетінің жағдайын бақылау – жер асты жұмыстары әсерінен болатын тәуекелдерді алдын алудың дәстүрлі тәсілі болып табылады. Аспаптық бақылау әдістері жоғары дәлдікке ие болғанымен, олардың негізгі кемшілігі – бір мезгілде бүкіл аумақты қамти алмауы болып табылады.

Опырылу белгілерін анықтаудың тиімді тәсілдерінің бірі – ғарыштық радиолокациялық интерферометрия (InSAR) әдістері. Бұл технологиялар жер бетінің деформациясын кең аумақта бақылауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар LiDAR платформалары ығысу деформацияларын анықтауда тиімді құрал болып саналады.

Зерттеу материалдары мен негізгі әдістері

Энергия қозғалыстың әмбебап өлшемі және әртүрлі геомеханикалық процестердің жүзеге асу көзі болып табылады. Тау жыныстары массивінің метатұрақты күйіндегі геоэнергия мөлшері оның тұрақты күйіндегі энергиядан неғұрлым жоғары болған сайын, опырылу процестерінің даму ықтималдығы да соғұрлым артады.

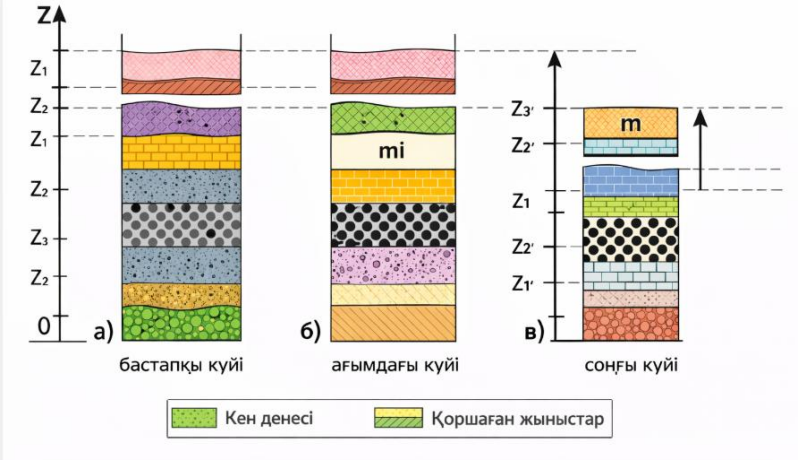
Геоэнергия W гравитациялық потенциалдық энергия WT мен серпімді деформацияның потенциалдық энергиясы Wd қосындысымен анықталады, сондықтан ол потенциалдық сипатқа ие. Осыған сәйкес геоэнергия потенциалы φ гравитациялық потенциал φ_T пен серпімді деформация потенциалы φ_d қосындысына тең:

$$\varphi=\varphi_T+\varphi_d, \quad (1)$$

мұндағы $\varphi = W/m$ – геоэнергия потенциалы; $\varphi_T = W_T/m$ – гравитациялық энергия потенциалы; $\varphi d = Wd/m$ – серпімді деформация энергиясының потенциалы; m – тау жыныстары массивінің массасы.

Аймақтарды аудандастыру әдісінің тиімділігін арттыру үшін критерий ретінде геоэнергия потенциалы қолданылады. Бұл көрсеткіш тау жыныстары массивінің GSI рейтингінің нақты мәндерін және қабаттағы ішкі қысымды ескеруге мүмкіндік береді. Критерий барлық аймақтық аудандастыру әдістеріне ортақ модель негізінде есептеледі. Осы модельге сәйкес кен орны аумағы z осі бойымен төменгі горизонтан (z = 0) бастап жер бетіне дейін созылатын квадрат қималы, бірлік ауданнан тұратын баған түріндегі массалық элементтерге бөлінеді.

Тау жыныстары массиві бірнеше геологиялық қабаттарға жіктеледі. Әр қабат шегінде келесі параметрлер тұрақты деп қабылданады: тау жыныстарының меншікті салмағы (тығыздығы), Юнг модулі және Пуассон коэффициенті. Осы параметрлер негізінде тау жыныстары массивінің геоэнергетикалық күйі анықталып, жер бетінің опырылу қаупі жоғары аймақтары белгіленеді.



2-сурет – Тау жыныстары массивінің геоэнергия потенциалын есептеу сызбасы: а) бастапқы күйі, ә) ағымдағы күйі, б) соңғы күйі.

Ауырлық күшінің потенциалдық энергиясы дененің массасына және оның массалар центрінің орналасуына байланысты анықталады. Осыған сәйкес, і-қабаттың ауырлық күшінің потенциалдық энергиясы W_{Ti} мынаған тең болады:

$$W_{Ti} = g\rho_i h_i z_{ci}\,, \qquad (2)$$

мұндағы z_{ci} – қабаттың массалар центрінің тік координатасы, g – еркін түсу үдеуі.

Қабаттың тығыздығы бойынша біртекті екендігін ескерсек, (2) формуланы ескере отырып, і-қабаттың ауырлық күшінің потенциалы

$$\varphi_{Ti} = gz_{ci}\,, \qquad (3)$$

мұндағы z_{ci} келесі түрде анықталады:

$$z_{ci} = z_i + 0.5h_i, \qquad (4)$$

Бастапқы күйдегі бүкіл бағанның ауырлық күшінің потенциалдық энергиясы

$$\varphi_{TO} = \sum_{i=0}^{n} \varphi_{Ti} = \sum_{i=0}^{n} g(z_i + 0{,}5h_i) \quad (5)$$

Пайдалы қазбаны өндіру нәтижесінде бағанның тұтастығы тау-кен қазбаларымен бұзылады (2-сурет, б). Мұндай ағымдағы күйде бағанның ауырлық күшінің энергия потенциалы φ_{Tn} тау-кен жұмыстары әсер етпеген қабаттардың потенциалдарының қосындысы арқылы анықталады:

$$\varphi_{Tn} = \sum_{i=0, i\neq j}^{n} \varphi_{Ti} = \sum_{i=0, i\neq j}^{n} g(z_i + 0{,}5h_i) \quad (6)$$

мұндағы j – қазбаның төменгі шекарасының координатасын анықтайтын индекс.

Әрбір қабат өзінен жоғары орналасқан қабаттардың қысымын және өз салмағынан туындайтын ішкі қысымды сезінеді. Ішкі қысым қабаттың жоғарғы бөлігінде **0-ден** бастап, төменгі бөлігінде $g\rho_i h_i$ мәніне дейін өзгереді. Сондықтан ішкі қысым ретінде оның **орташа мәні,** яғни $0{,}5g\rho_i h_i$ қабылданады. Осылайша, қабатқа әсер ететін **жалпы қысым** келесі түрде анықталады:

$$p_i = \sum_{k=i+1}^{n} \rho_i\, g_i + 0{,}5\, g\rho_i h_i. \qquad (7)$$

Жер бетінің деформациясын талдау нәтижесінде опырылу қаупі бар аймақтарды анықтауға қажетті геоэнергия потенциалы түсіндірілді, ауырлық күшінің потенциалдық энергиясы формулалармен берілді және қабаттағы қысымның қалыптасуы көрсетілді.

Қорытынды. Осылайша, тау жыныстары массивіндегі қабаттарға әсер ететін қысым олардың үстінде орналасқан қабаттардың салмағымен және қабаттың өз салмағынан туындайтын ішкі қысыммен анықталады. Алынған өрнектер тау массивінің геоэнергия потенциалын бағалауға және пайдалы қазбаларды өндіру кезінде массивтің энергетикалық күйінің өзгерісін талдауға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Aitkazinova Sh.K., Imansakipova B.B., Sdvizhkova O.O., Kirgizbaeva D.M., Imansakipova A.B. Localization of the sinkhole hazard of the earth's surface during underground mining. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of geology and technical sciences 4 (472), P.8-26.

2. Шустов Д.В., Ермашов А.О. (2012). Прогноз сдвижений и деформаций горного массива Тишинского месторождения методами конечных и дискретных элементов. Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело, № 5, - С.89-96

3. Gutiérrez, F.; Cooper, A.H.; Johnson, K.S. Identification, prediction, and mitigation of sinkhole hazards in evaporite karst areas. *Environ. Geol.* 2008, *53*, -С.1007–1022.

4. Galve, J.P.; Gutiérrez, F.; Remondo, J.; Bonachea, J.; Lucha, P.; Cendrero, A. Evaluating and comparing methods of sinkhole susceptibility mapping in the Ebro Valley evaporite karst (NE Spain). Geomorphology 2009, -С. 111, 160–172.

5. Gutiérrez, F.; Guerrero, J.; Lucha, P. Quantitative sinkhole hazard assessment. A case study from the Ebro Valley evaporite alluvial karst. *Nat. Hazards* 2008, *45*, С. 211–233.

6. Theron, A.; Engelbrecht, J.; Kemp, J.; Kleynhans, W.; Turnbull, T. Detection of Sinkhole Precursors through SAR Interferometry: Radar and Geological Considerations. IEEE Geosci. Remote Sens. Lett. 2017, 14, - С. 871–875.

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ: КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ GNSS И БПЛА

Сұлтанхамитова А.М.
магистрант, Satbaye University, Алматы, Казахстан
Кожаев Ж.Т.
PhD, профессор, Satbayev University, Алматы, Казахстан

DIGITAL TWINS OF ENERGY FACILITIES: A CONCEPT FOR THE APPLICATION OF GNSS AND UAVS

Sultankhamitova A.
Master's Student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,
Kozhaev Zh.
PhD, Professor, Satbayev University Almaty, Kazakhstan,
DOI: 10.5281/zenodo.20152314

Аннотация

В статье рассматриваются современные подходы к созданию цифровых двойников объектов электроэнергетической инфраструктуры на основе интеграции технологий глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS) и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)..Беспилотные летательные аппараты рассматриваются как эффективный инструмент дистанционного сбора пространственной информации, позволяющий оперативно фиксировать текущее состояние подстанционного оборудования, опор линий электропередачи и прилегающих территорий.

Abstract

The article considers modern approaches to the creation of digital twins of electrical power infrastructure facilities based on the integration of Global Navigation Satellite System (GNSS) technologies and Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). Unmanned aerial vehicles are regarded as an effective tool for remote spatial data acquisition, enabling the operational recording of the current condition of substation equipment, transmission line towers, and surrounding areas.

Ключевые слова: цифровой двойник, GNSS, беспилотные летательные аппараты, линии электропередачи, подстанции, пространственный мониторинг, 3D-моделирование, инженерная геодезия, энергетическая инфраструктура.

Keywords: digital twin, GNSS, unmanned aerial vehicles, transmission lines, substations, spatial monitoring, 3D modeling, engineering geodesy, energy infrastructure.

1. Введение

Современное развитие электроэнергетической отрасли характеризуется активным внедрением цифровых технологий, направленных на повышение надёжности, безопасности и эффективности эксплуатации энергетической инфраструктуры. Подстанции и высоковольтные линии электропередачи являются ключевыми элементами энергосистемы, обеспечивающими передачу и распределение электрической энергии на значительные расстояния. Рост требований к качеству проектирования, строительства и эксплуатации таких объектов обусловливает необходимость применения высокоточных методов получения и анализа пространственных данных. Традиционные инженерно-геодезические методы, основанные преимущественно на наземных измерениях, требуют значительных временных и трудовых затрат, особенно при работе на протяжённых линейных объектах и в сложных природных условиях. В связи с этим особую актуальность приобретает использование современных спутниковых технологий GNSS и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), позволяющих оперативно получать пространственную информацию высокой точности и обеспечивать комплексное цифровое представление объектов энергетики.

Одним из перспективных направлений развития инженерной геодезии является концепция цифровых двойников — виртуальных моделей реальных объектов, отражающих их геометрические характеристики, пространственное положение и эксплуатационные параметры. Применение цифровых двойников в электроэнергетике открывает возможности для постоянного мониторинга состояния инфраструктуры, анализа изменений во времени и повышения обоснованности инженерных решений на всех этапах жизненного цикла энергетических объектов.Интеграция данных спутниковых измерений GNSS и дистанционных наблюдений с использованием БПЛА позволяет формировать актуальные трёхмерные пространственные модели подстанций и линий электропередачи, обеспечивая переход от разовых обследований к системе цифрового сопровождения объектов. Такой подход соответствует современным тенденциям цифровизации промышленности и развитию интеллектуальных систем управления инфраструктурой.

2. Материалы и методы исследования

Исследование направлено на теоретическое обоснование подходов к формированию цифровых двойников объектов электроэнергетической инфраструктуры с применением современных средств

пространственного позиционирования и дистанционного наблюдения. В работе используется концептуальная модель объединения данных глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS), беспилотных летательных аппаратов и исходных пространственных данных в формате KMZ как элементов единой информационно-геодезической среды. GNSS-точки на карте были обозначены в виде опорных отметок (крестиков), используемых для последующей пространственной привязки и согласования всех источников данных.

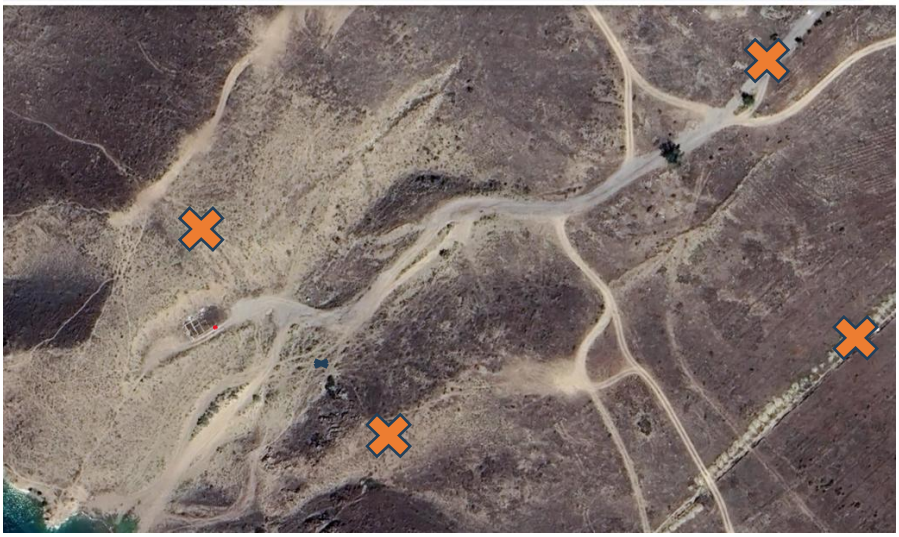


Рис.1 - Исходные данные в формате KMZ

Методологическая основа исследования базируется на анализе существующих технологических решений инженерной геодезии и цифрового моделирования территорий. Рассматриваемая схема получения пространственной информации включает последовательное формирование координатной основы, использование предварительно подготовленных данных KMZ, дистанционный сбор данных и интеграцию результатов в цифровую модель объекта.

В качестве типового средства воздушного мониторинга принят беспилотный летательный аппарат DJI Mavic 3, обладающий встроенной навигационной системой и возможностью получения высокодетализированных изображений местности. Использование БПЛА данного класса рассматривается как универсальный инструмент оперативного наблюдения за состоянием энергетических объектов без необходимости проведения трудоёмких наземных измерений.

Предлагаемая методика формирования цифрового двойника включает несколько взаимосвязанных этапов.

На первом этапе формируется пространственная опорная система координат на основе спутниковых GNSS-наблюдений. Дополнительно используется предварительный материал в формате KMZ, содержащий исходные контуры и ориентировочные координаты объектов, что позволяет повысить точность привязки данных и упростить процесс последующей обработки.

Второй этап предполагает выполнение аэровизуального обследования территории размещения энергетической инфраструктуры. Съёмка позволяет зафиксировать положение опор линий электропередачи, элементы подстанционного оборудования, особенности рельефа и состояние прилегающих участков. Получаемая информация рассматривается как исходный массив пространственных данных для дальнейшего моделирования.

На следующем этапе выполняется создание цифровой модели местности, отражающей геометрическую структуру исследуемой территории. Модель включает рельефные характеристики, расположение инженерных конструкций и взаимное положение объектов инфраструктуры. Интеграция пространственных данных, включая GNSS-измерения, результаты БПЛА-съёмки и материалы KMZ, осуществляется в среде инженерного проектирования AutoCAD, что позволяет представить объект в формате единого цифрового пространства.

3. Результаты и их обсуждение

В рамках исследования, посвящённого концепции формирования цифровых двойников энергетических объектов с применением GNSS и беспилотных летательных аппаратов, был реализован комплекс работ по сбору и интеграции пространственных данных. Исходная информационная база включала результаты спутниковых GNSS-наблюдений, предварительные геопривязанные данные формата KMZ, а также материалы аэрофотосъёмки, полученные с использованием БПЛА DJI Mavic 3.

На основе полученных изображений был сформирован ортофотоплан территории размещения объектов электроэнергетической инфраструктуры. В процессе фотограмметрической обработки выполнена геометрическая коррекция снимков, что позволило минимизировать искажения масштаба и перспективы и обеспечить их соответствие реальной пространственной модели местности.

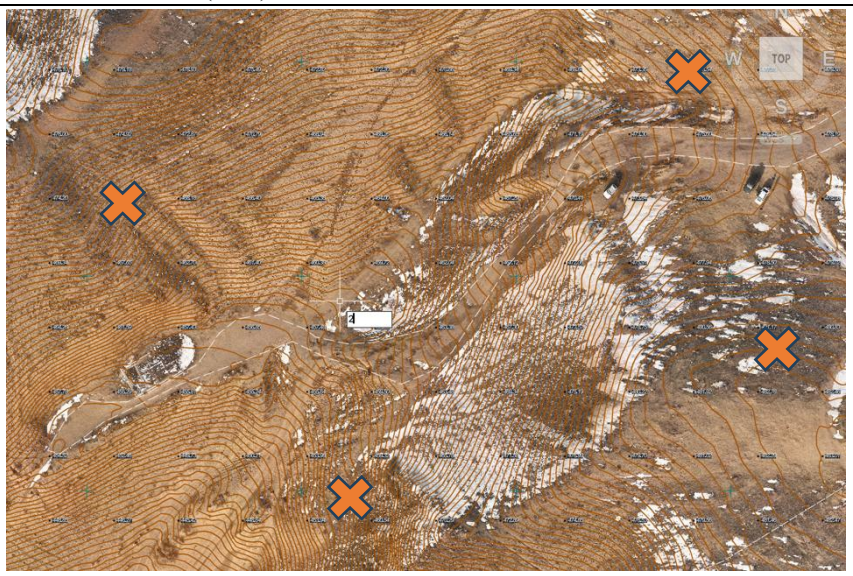


Рис.2: Ортофотоплан местности полученные с БПЛА

Далее осуществлялась камеральная обработка данных в среде AutoCAD. В единую цифровую среду были интегрированы ортофотоплан, координаты GNSS-измерений и KMZ-слой, содержащий предварительное представление объектов инфраструктуры. Совмещение разнородных источников информации выполнялось в единой координатной системе, что обеспечило их взаимную увязку и уточнение пространственного положения элементов энергетической сети.

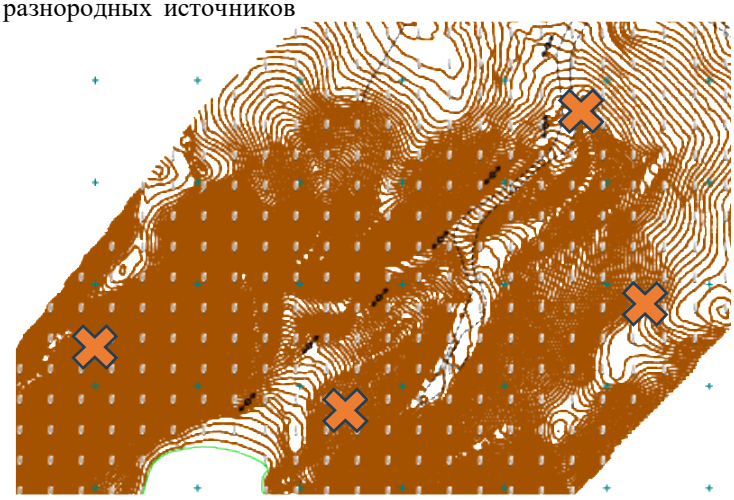


Рис.3: Обработанные данные в AutoCAD

Полученные результаты концептуального моделирования показывают, что цифровой двойник энергетического объекта целесообразно рассматривать как многокомпонентную систему, включающую геодезическую координатную основу, сформированную на базе GNSS-измерений, трёхмерную пространственную модель инфраструктуры, информационный слой эксплуатационных характеристик, а также подсистему пространственного мониторинга изменений.

Сравнение традиционных инженерно-геодезических подходов с предложенной цифровой концепцией демонстрирует, что применение цифровых двойников позволяет уменьшить зависимость от периодических наземных обследований и перейти к более гибкой модели непрерывного наблюдения за состоянием объектов. По результатам анализа научных публикаций установлено, что подобный подход способствует сокращению времени обновления пространственных данных и повышает оперативность инженерно-управленческих решений. На основе полученных высотных данных, полученных в результате аэрофотосъёмки, были сформированы цифровые двойники исследуемых энергетических объектов, что позволило уточнить их пространственную структуру и повысить детализацию трёхмерной модели.

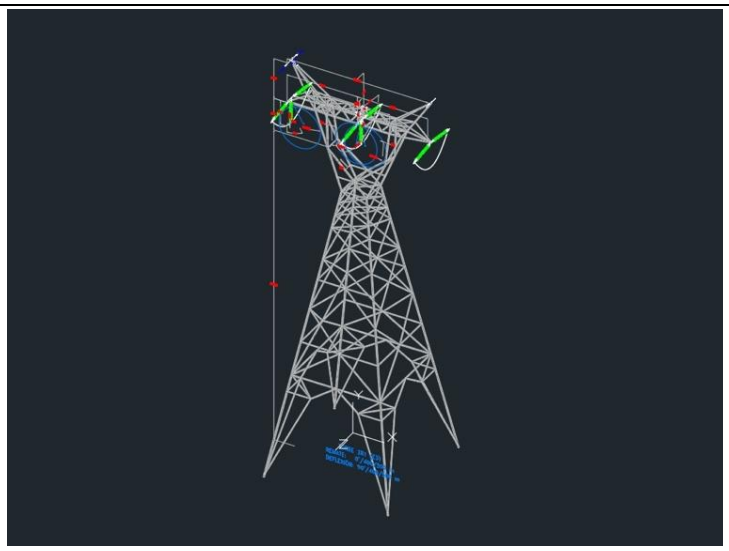


Рис.4 - Формирование цифрового двойника энергетического объекта

4. Выводы. Выполненное исследование показало, что объединение GNSS-наблюдений, данных беспилотной аэрофотосъёмки и предварительных геопривязанных материалов формата KMZ позволяет сформировать целостное цифровое представление объектов электроэнергетической инфраструктуры. Практическая реализация подхода с использованием ортофотоплана и последующей обработки в AutoCAD подтвердила возможность точного согласования разнородных пространственных данных в единой координатной системе.

Результаты демонстрируют, что получаемая цифровая модель достаточно полно отражает геометрию и взаимное расположение элементов энергетической сети, обеспечивая основу для построения цифрового двойника. При этом использование БПЛА обеспечивает актуальность и детализацию данных, а GNSS - стабильную координатную привязку, что в совокупности повышает достоверность итоговой модели.

Проведённый анализ подтверждает, что цифровой двойник в данном контексте представляет собой не статичную модель, а развивающуюся информационную систему, способную объединять геометрические, пространственные и эксплуатационные данные. Это позволяет рассматривать его как инструмент не только фиксации состояния объекта, но и его последующего мониторинга.

Таким образом, предложенный подход демонстрирует практическую значимость для задач инженерной геодезии и цифровизации энергетической инфраструктуры, создавая основу для более широкого внедрения технологий цифровых двойников в отраслевые процессы.

Список литературы

1. Кенжебаев А.К. Основы спутниковой геодезии и применение GNSS-технологий в инженерных работах. - Астана: ЕНУ им. Л.Н. Гумилёва, 2019. —180 с.

2. Ибраев С.К., Нургалиев А.Ж. Использование беспилотных летательных аппаратов в инженерно-геодезических изысканиях. // Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилёва. — 2023. — №2. — С. 88–95.

3. Омаров Н.Т., Жумабаев А.С. Инженерная геодезия в строительстве энергетических объектов. — Алматы: КазНИТУ им. К.И. Сатпаева, 2021. — 256 с.

4. Кузнецов Д.В., Петров А.С. Геодезическое обеспечение строительства линий электропередачи. — М.: Недра, 2020. — 312 с.

5. Zhang C., Kovacs J.M. The application of small UAVs for precision surveying and mapping: a review. // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. — 2012. — Vol. 66(4). — pp. 506–516.

6. Westoby M.J., Brasington J., Glasser N.F. Structure-from-Motion photogrammetry: A low-cost tool for geoscience applications. // Geomorphology. — 2012. — Vol. 179. — pp. 300–314.

7. Rehak M., Mabillard R., Skaloud J. UAV-based photogrammetry and GNSS integration for infrastructure monitoring. // Journal of Surveying Engineering. — 2020. — Vol. 146(4). — 04020028.

8. Агентство Республики Казахстан по геодезии и картографии. Методические рекомендации по применению GNSS-технологий в инженерных изысканиях. — Астана, 2021.

ІЛЕ АЛАТАУ АЙМАҒЫНДА СУ ТАСҚЫНЫ ҚАУПІН МОНИТОРИНГТЕУ ЖӘНЕ БОЛЖАУ

Турехан Б.Ж.
магистрант, Satbayev University, Алматы, Казахстан
Нурпеисова М.Б.
профессор, док..техн.наук, Satbayev University, Алматы, Казахстан

MONITORING AND FORECASTING FLOOD RISK IN THE ILE ALATAU REGION

Turekhan B.
master's student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
Nurpeissova M.
Professor, Doctor of Technical Sciences, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.20152334

Аннотация

Бүгінгі таңда заманауи технологиялоар су тасқыны сияқты динамикалық және ауқымды құбылыстарды қоса алғанда, табиғи апаттарды зерттеу мен бақылауда жаңа технологиялар шешуші рөл атқарады.Бұл технологияжер бетіндегі өзгерістерді әртүрлі спектрлік диапазондарда түсіруге мүмкіндік береді, бұл кешенді кеңістіктік-уақыттық талдау мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

Abstract

Today, modern technologies play a crucial role in the study and monitoring of natural disasters, including dynamic and large-scale phenomena such as floods. These technologies make it possible to capture changes on the Earth's surface across different spectral ranges, thereby enabling comprehensive spatio-temporal analysis.

Түйінді сөздер: су тасқыны, мониторинг, ылғалдылық, диаграмма, экология, атрибуттық кесте, бағдарлама, ауытқу.

Keywords: flood, monitoring, humidity, diagram, ecology, attribute table, program, deviation.

Кіріспе

Су тасқыны елді мекендерге, инфрақұрылымға және табиғи экожүйелерге айтарлықтай зиян келтіретін ең қауіпті табиғи процестердің бірі болып табылады. Оңтүстік-Шығыс Қазақстанның таулы аудандары, атап айтқанда Іле Алатауы, қарқынды жауын-шашынның, мұздықтардың белсенді еруінің, сел процестерінің және күрделі рельефтің үйлесімімен сипатталады, бұл су тасқыны мен су тасқыны ықтималдығын едәуір арттырады.

Климаттың өзгеруі және антропогендік жүктеменің өсуі жағдайында су тасқыны қаупін бақылау мен болжаудың тиімді әдістерін әзірлеу өзекті міндет болып табылады. Қазіргі заманғы геодезиялық, маркшейдерлік және геоақпараттық технологиялар қауіпті гидрологиялық процестерді талдау үшін қажетті жоғары дәлдіктегі кеңістіктік деректерді алуға мүмкіндік береді.

Бұл ғылыми-зерттеу жұмысының мақсаты ГАЖ технологиялары мен Жерді қашықтықтан зондтау деректерін пайдалана отырып, Іле Алатау ауданында су тасқыны қаупін мониторингілеу мен болжаудың заманауи әдістерін қолдануды талдау және негіздеу болып табылады.

1.Іле алатау аймағындағы су тасқынының қалыптасуының табиғи-географиялық жағдайлары мен факторлары

Іле Алатауы Оңтүстік-Шығыс Қазақстанның табиғи-географиялық жағынан ең күрделі өңірлерінің бірі болып табылады. Ол Солтүстік Тянь-Шаньға жатады және күрт бөлінген таулы рельефпен, биіктіктің айтарлықтай өзгеруімен (теңіз деңгейінен 600-700 м-ден 4500 м-ге дейін), дамыған мұзды-қарлы аймақпен және тығыз өзен желісімен сипатталады. Ауданның гидрографиялық желісі Талғар, Есік, Түрген, Қаскелең, үлкен және Кіші Алматы өзендерімен ұсынылған, олар биік таулы аймақтарда қалыптасады және негізінен қар-мұздық қоректенеді. Бұл өзендер қар жамылғысы мен мұздықтардың қарқынды еруімен тікелей байланысты көктемгі-жазғы кезеңдегі ең жоғары деңгеймен күрт маусымдық ағын режимімен сипатталады.

Іле Алатауының климаттық жағдайлары жоғары өзгергіштігімен ерекшеленеді. Жылы мезгілде қысқа мерзімді, бірақ қарқынды жаңбыр жауады, бұл қысқа уақыт ішінде айтарлықтай су тасқыны шығындарын қалыптастыруға қабілетті. Соңғы жылдары климаттың өзгеруіне байланысты экстремалды ауа-райының күшеюі су тасқыны жиілігі мен ауқымының өсуіне әкеледі.

Су тасқынының қалыптасуында осы аймақта кең таралған сел процестері маңызды рөл атқарады. Сел қатты жауын-шашынның, мұздықтардың еруінің және беткейлердің тұрақсыз геологиялық құрылымының үйлесуі нәтижесінде пайда болады. Сел ағындары өзен арналарын жауып, уақытша тосқауылдар тудыруы мүмкін, олардың кейінгі серпілісі апатты су тасқынына әкеледі.

Қосымша қауіп факторы-өзендердің жоғарғы ағысында орналасқан мұздық және мореналық көлдер. Олардың серпілістері елді мекендер мен инфрақұрылым объектілерін қоса алғанда, астындағы аумақтар үшін елеулі қауіп төндіреді.

Антропогендік әсер су тасқынының пайда болуына да айтарлықтай әсер етеді. Өзендердің жайылмаларын белсенді дамыту, ормандарды кесу, табиғи арналардың өзгеруі және гидротехникалық құрылыстардың өткізу қабілетінің жеткіліксіздігі су тасқыны қаупінің артуына ықпал етеді.

Осылайша, Іле Алатауы ауданындағы су тасқыны өзара байланысты табиғи және антропогендік факторлар кешенінің әсерінен қалыптасады. Күрделі рельефтің, белсенді гидрометеорологиялық процестердің және шаруашылық қызметтің үйлесуі су тасқыны мен сел құбылыстарын жүйелі мониторингтеу мен ғылыми негізделген болжауды қажет етеді.

2. Су тасқынын бақылаудың заманауи әдістері

Су тасқынын бақылау-қауіпті гидрологиялық процестерді уақтылы анықтауға және олардың ықтимал салдарын бағалауға бағытталған тұрақты бақылау жүйесі. Іле Алатауы таулы аудандарының жағдайында мониторинг су тасқынының қалыптасуының табиғи және антропогендік ерекшеліктерін ескеруі тиіс.

Дәстүрлі бақылау әдістеріне стационарлық және уақытша гидропосттардағы жердегі гидрологиялық бақылаулар жатады. Мұндай пункттерде су деңгейлері, шығыстар, ағын жылдамдығы, температура және судың бұлыңғырлығы өлшенеді. Бұл деректер ағынның көпжылдық динамикасын талдауға және су тасқынының қалыптасу заңдылықтарын анықтауға мүмкіндік береді.

Соңғы жылдары су деңгейі, жауын-шашын және температура датчиктерімен жабдықталған автоматтандырылған бақылау жүйелері кеңінен қолданылды. Автоматты станцияларды пайдалану нақты уақыт режимінде деректерді үздіксіз жинауды қамтамасыз етеді және ақпаратты диспетчерлік және талдау орталықтарына жедел жіберуге мүмкіндік береді.

Су тасқынын бақылауда Жерді қашықтықтан зондтау әдістері маңызды рөл атқарады. Спутниктік деректер қар жамылғысының күйін, мұздықтардың динамикасын, топырақтың ылғалдылығын және су басу аймағын бақылауға мүмкіндік береді. Бұл әдістер тұрақты жер үсті өлшеулерін жүргізу қиын болатын жету қиын және биік таулы аймақтар үшін ерекше маңызға ие. Әлемдік тәжірибеде қардың биіктігі мен су мөлшерін өлшеу үшін қолмен, автоматты немесе қашықтан басқарылатын жер үсті мониторинг әдістері қолданылады. Қолмен өлшеу әдістері бүкіл әлем бойынша жету қиын аймақтарда әлі де қолданылады. Бұл жағдайда қолданылатын құрылғылар Қазақстанда қолданылатын құрылғылар- ға ұқсас. Дегенмен, ДМҰ бақылау нүктелерінің желісі біртіндеп автоматтандырылған бақылау жүйелеріне ауысуда. Стандартты метеостанция алаңында орнатылған электронды датчиктер 2-суретте көрсетілген. Олар қардың қалыңдығы 1 см-ге дейін және қар суының мөлшері 1 мм-ге дейін өлшеу дәлдігіне ие.

Мониторинг жүйесін жаңарту кезінде шетелдік жүйелердің артықшылықтары мен кемшіліктерін ескеру қажет. Алматы қаласы Төтенше жағдайлар департаментінің бұйрығымен География және су қауіпсіздігі институтымен Іле Алатауындағы Кіші және Үлкен Алматы өзендерінің бассейндерінде сел және көшкін қаупін автоматтандырылған бақылау жүйесін ұйымдастыру бойынша ауқымды жұмыстар жүргізілді [29]. Бұл тәжірибе «Қазгидромет» РМК жерүсті бақылау желісін жаңғыртуда пайдалы болуы мүмкін.

а *б* *в* *г*

Сурет 2 – Қазіргі заманғы автоматтандырылған өлшеу құралдары:
а – лазерлік қар тереңдігі датчигі; б – қар жамылғысының су мөлшерін өлшеуге негізделген гамма-сәулелену негізіндегі датчик; в – қар суының мөлшерін анықтауға арналған механикалық платформа; г – күн сәулеленуінің датчигі

Қосымша мониторинг жүйесінде аэрофототүсірілім және пилотсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) пайдалана отырып түсіру қолданылады. Бұл әдістер өзен арналарының, жайылмалардың және сел ошақтарының егжей-тегжейлі суреттерін алуға, сондай-ақ су тасқыны мен су тасқынының салдарын жедел бағалауға мүмкіндік береді.

Осылайша, су тасқынын бақылаудың заманауи әдістері жер үсті бақылауларын, автоматтандырылған өлшеу жүйелері мен қашықтықтан оқыту технологияларын кешенді пайдалануға негізделген, бұл су тасқыны қаупін бағалаудың дұрыстығын және алдын алу шараларының тиімділігін арттыруды қамтамасыз етеді.

3. Су тасқыны қаупін бағалау және болжау үшін гаж және жерді қашықтықтан зондтауды қолдану

Геоақпараттық жүйелер (ГАЖ) су тасқынын зерттеу мен болжаудың негізгі құралдарының бірі болып табылады, өйткені олар гетерогенді кеңістіктік және атрибуттық деректерді бір ақпараттық ортаға біріктіруді қамтамасыз етеді. Іле Алатауының күрделі таулы рельефі жағдайында ГАЖ қолдану биіктіктердің, беткейлердің еңістерінің, өзен бассейндерінің экспозициясы мен құрылымының су тасқыны процестерінің қалыптасуына әсерін ескеруге мүмкіндік береді. ГАЖ талдаудың негізгі кезеңдерінің бірі топографиялық карталар, қашықтықтан зондтау деректері және аэрофототүсірілім материалдары негізінде алынған цифрлық рельефтік модельдерді (dem) құру болып табылады. Dem жер үсті ағынының бағыттарын модельдеу, су жинау шекараларын анықтау және ықтимал қауіпті су басу аймақтарын анықтау үшін қолданылады. Sentinel, Landsat спутниктерінен және басқа платформалардан алынған Жерді қашықтықтан зондтау деректері қар жамылғысының, мұздықтардың және су объектілерінің динамикасын талдау үшін қолданылады. Ұзақ мерзімді спутниктік суреттер мұздықтар аймағының өзгеруін бақылауға, қарқынды еру аймақтарын анықтауға және олардың су тасқынының пайда болуына қосқан үлесін бағалауға мүмкіндік береді. ГАЖ ортасында су тасқыны қаупін болжау шеңберінде су тасқыны жағдайының дамуының әртүрлі сценарийлерін модельдеу жүзеге асырылады. Ол үшін жауын-шашын мөлшері, температура режимі, топырақ жағдайы және өзендердің гидрологиялық сипаттамалары туралы мәліметтер қолданылады. Модельдеу нәтижелері су басу ықтималдығын және аумақтардың осалдық дәрежесін көрсететін су тасқыны қаупі мен тәуекел карталары түрінде ұсынылады. Маңызды бағыт-ГАЖ-ны далалық бақылау нәтижелерімен және бақылау станцияларының мәліметтерімен біріктіру. Бұл кешенді тәсіл болжамдардың дәлдігін жақсартады және ГАЖ-ны қорғаныс шараларын жоспарлау және төтенше жағдайлардың алдын алу кезінде шешім қабылдауды қолдау құралы ретінде пайдалануға мүмкіндік береді.

Осылайша, ГАЖ және Жерді қашықтықтан зондтауды қолдану су тасқыны қаупін ғылыми негізделген бағалауды және болжауды қамтамасыз етеді, бұл әсіресе табиғи қауіптілігі жоғары таулы аймақтарға қатысты. ГАЖ құрамындағы цифрлық рельеф модельдерін, гидрологиялық және климаттық параметрлерді пайдалану су тасқыны қаупін сапалы бағалаудан сандық талдауға және тәуекел аймақтарын кеңістіктік модельдеуге көшуге мүмкіндік береді. Жұмыстың практикалық бағыты Іле Алатауы өзендерінің бассейндеріндегі су тасқыны қаупін талдау үшін Жерді қашықтықтан зондтаудың ГАЖ-бағдарланған әдістері мен деректерін қолдану мүмкіндігі болып табылады. Алынған тәсілдер цифрлық рельеф модельдерін құруда, ықтимал су басу аймақтарын бөлуде және табиғи қауіптілігі жоғары аумақтар үшін су тасқыны қаупі карталарын дайындауда қолданылуы мүмкін. Бастапқы деректер ретінде алдағы уақытта Іле Алатауы өзендері бойынша Sentinel-2 спутниктік суреттерін, рельефтің цифрлық үлгілерін және гидрологиялық бақылау материалдарын пайдалану жоспарлануда.

Ғылыми-зерттеу жұмыстарын орындау барысында Іле Алатауы ауданында су тасқынының қалыптасуының табиғи-географиялық жағдайлары қарастырылып, олардың мониторингінің заманауи әдістері талданды. Күрделі тау рельефі, өзендердің қар-мұздық қоректенуі, сел процестері және антропогендік әсер зерттелетін аумақтың жоғары су тасқыны қаупін тудыратыны анықталды.

Су тасқынын бақылау мен болжаудың ең тиімді тәсілі жердегі гидрологиялық бақылауларды, автоматтандырылған өлшеу жүйелерін, Жерді қашықтықтан зондтау деректерін және геоақпараттық

технологияларды кешенді пайдалану болып табылады. Сандық рельефтік модельдерді, су жинау бассейндерін кеңістіктік талдауды және сценарийлік модельдеуді қолдану болжамдардың дәлдігін арттыруға және ықтимал қауіпті су басу аймақтарын уақтылы анықтауға мүмкіндік береді.

Жүргізілген зерттеу нәтижелері Іле Алатауы ауданында су тасқыны қаупін бағалау және болжау кезінде ГАЖ-бағдарланған әдістерді енгізудің орындылығын растайды. Алынған қорытындылар су тасқынынан болатын залалды азайту жөніндегі іс-шараларды әзірлеу кезінде пайдаланылуы мүмкін, сондай-ақ магистрлік диссертацияны одан әрі орындау үшін негіз болады. Жұмыстың практикалық маңыздылығы су тасқыны қаупін азайту жөніндегі шараларды жоспарлау кезінде, сондай-ақ азаматтық қорғау органдары мен жергілікті атқарушы органдар үшін ұсынымдар дайындау кезінде нәтижелерді қолдану мүмкіндігінен тұрады.

Қорытынды. Қазақстан Республикасының қар көшкіні қызметінің 50 жылдан астам тарихы бар. Осы уақыт ішінде бақылау пункттері ашылды, қар көшкінін бақылау мен болжаудың ғылыми әдістері жасалды. Оның өзіндік артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Біріншіден, қарапайым өлшеу құралдары мен графикалық болжау әдістерінің құны төмен және орындаушылардан төмен біліктілікті талап етеді. Қазіргі жағдайда болжамдардың төмен дәлдігі экономикалық шығындар мен халық пен басқа тұтынушылардың сенімсіздігін тудырады [19].

Болжау әдістерін жаңғырту үшін келесі бағыттарды дамыту қажет:

1. Аумақты қамтуды, байқалатын параметрлердің санын және деректерді беру жылдамдығын арттыруға мүмкіндік беретін жердегі бақылауға арналған заманауи автоматты өлшеу құралдары.

2. Қашықтықтан зондтау әдістерін қолдану. Дегенмен, оларды жүзеге асыру үшін калибрлеу және қателерді анықтау бойынша зерттеу жұмыстары қажет.

3. Ықтималды болжам нысандарын және деректерді визуализациялау құралдарын енгізу бізге ақпаратты тұтынушыға жеткізуге және қауіптіліктің әрбір деңгейі үшін қажетті қорғаныс шараларын әзірлеуге мүмкіндік береді.

4. Жасанды интеллект технологияларын қолданатын автоматтандырылған сараптамалық жүйелер бақылаушылардың біліктілігінен тәуелсіз қар көшкіндері туралы ескертулерді әзірлеуге көмектеседі.

5. Дүниежүзілік метеорологиялық ұйымның дерекқорларынан алынған сандық болжау әдістерін пайдалану дауылды ескертулердің алдын ала уақытын ұлғайтады және шұғыл шараларды қабылдауға уақыт береді.

6. Біртұтас жедел болжамдар орталығын қайта құру және халыққа арналған қар көшкіндері туралы бюллетеньдерді шығару. Үлкен аумақ пен белгілі уақыт аралығындағы жалпы деректерді қамтитын анықтамалар мен ұсынымдар дәлдігі төмен ақпаратты береді. Нәтижесінде, пайдаланушылар оларды елемейді.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Медеу А.Р. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана. – Алматы, 2011.

2. Нурпеисова М.Б., Рысбеков К.Б. Геодинамический мониторинг и прогноз опасных процессов. – Алматы, 2015.

3. Шевченко В.А. Геоинформационные системы в гидрологии. – М.: Геодезиздат, 2018

4. Материалы Комитета по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан по паводковой опасности.

5. Керімбай Н.Н. Жерді қашықтықтан зондтауды геоақпараттық технология әдістерімен талдау: оқу құралы: Алматы: Дарын. 2023. 310 б.

ЖЕР БЕТІНІҢ ТЕХНОГЕНДІК ШӨГУІН БОЛЖАУДЫҢ ӘДІСТЕМЕСІ

Кенесбаева А.
PhD, профессор, Satbayev University, Алматы, Казахстан
Курманбаев О.
PhD, профессор, Al-Farabi University, Алматы, Казахстан,
Курманбаев Р.
Докторант, Al-Farabi University, Алматы, Казахстан

METHODOLOGY FOR PREDICTING TECHNOGENIC LAND SUBSIDENCE

Kenesbayeva A.
PhD, Professor, Satpayev University, Almaty, Kazakhstan
Kurmanbayev O.
PhD, Professor, Al-Farabi University Almaty, Kazakhstan
Kurmanbayev R.
doctoral student, Al-Farabi University Almaty, Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.20152380

Аннотация

Статья посвящена изучению геодинамических процессов, происходящих при разработке месторождений углеводородов в западном регионе Казахстана.

Abstract

The article is devoted to the study of geodynamic processes occurring during the development of hydrocarbon fields in the western region of Kazakhstan.

Түйін сөздер: көмірсутек кен орындары, жер беті, шөгу, қабат төбесі, қабаттық қысым.

Keywords: hydrocarbon deposits, land surface, subsidence, reservoir roof, reservoir pressure.

Кіріспе. Қазақстан Республикасының батыс өңірінің жер қойнауы көмірсутек шикізаты кен орындарына бай. Мұнай-газ ресурстарын ауқымды түрде игеру жер бетінің қарқынды қозғалыстарына әкеледі, бұл құбылыс жергілікті аумақтар шегінде де, жекелеген құрылымдық элементтерде де байқалады. Соның нәтижесінде бұрғылау ұңғымаларының қисаюы, мұнай-газ және су құбырларының үзілуі, теміржол және автомобиль жолдарының, жерасты коммуникациялары мен инженерлік құрылыстардың істен шығуы орын алады, бұл өз кезегінде айтарлықтай экономикалық шығындарға әкеледі. Көмірсутек кен орындарын игеру барысында әлемнің көптеген мұнай-газ бассейндерінде мұнай мен газ өндірумен байланысты күшті, тіпті апатты геодинамикалық құбылыстар тіркелген. Бұл құбылыстар жер сілкіністері, жарықтардың белсенділенуі, жер бетінің қарқынды шөгуі түрінде көрініс табады. Бұған мысал ретінде Газли (Өзбекстан), Лак (Франция), Strachan мен Snipe Lake (Канада), Fashing (АҚШ) және басқа да кен орындарындағы күшті жер сілкіністерін келтіруге болады.

Аталған құбылыстардың барлығы жер қойнауын ауқымды игерудің әсерінен геологиялық ортаның геодинамикалық режимінің өзгеруінің тікелей салдары болып табылады. Бұл тұжырым «Прикаспий аймағы» табиғи-техникалық жүйесі мысалында жүргізілген эксперименттік зерттеулер нәтижелерімен дәлелденген. Аталған зерттеулер 2012–2019 және 2023–2025 жылдар аралығында көмірсутек кен орындарындағы табиғи-техногендік процестердің кешенді геодинамикалық мониторингін жүргізу бағдарламасы аясында Satbayev University мен «Геосервис-С» ЖШС бірлесіп жүзеге асырған [1-3].

Бұл мәселеге деген қызығушылық жыл сайын әлем бойынша артып келеді, соның ішінде Каспий өңірінде көмірсутек кен орындарын игерумен айналысатын елдерде де. Мұны халықаралық ғылыми-техникалық журналдарда тұрақты түрде жарияланатын түрлі баяндамалар мен хабарламалар, сондай-ақ көмірсутек кен орындары аумақтарында геодинамикалық мониторинг жүргізу әдістері мен қағидаларын әзірлеуге арналған жыл сайынғы ғылыми конференцияларда талқыланатын материалдар дәлелдейді[4, 5].

Каспий теңізінің жағалау сызықтарының өзгерістерін бақылау мақсатында жерүсті геодезиялық бақылаулар жүргізіліп, олардың ғарыштық түсірілімдері талданды (1-сурет). Каспий теңізі бес жағалаудағы мемлекеттердің — Ресей, Қазақстан, Түрікменстан, Иран және Әзербайжанның жағаларын шайып жатыр . Солтүстік бөлігінде жағалау сызығы Еділ мен Жайық өзендерінің атырауларындағы су арналары мен аралдар арқылы қатты тілімденген; жағалауы аласа және батпақты, ал су беті көптеген жерлерде өсімдіктермен жабылған. Шығыс жағалауында шөлейт және шөл аймақтарға ұласатын эктас жағалаулар басым. Ең ирек жағалаулар батыс бөлігінде Апшерон түбегі маңында, сондай-ақ шығыс бөлігінде Қазақ шығанағы мен Қара-Боғаз-Гөл ауданында орналасқан.

а *б* *в*

Сурет 1. а — Каспий теңізінің түптік шөгінділер картасы; б — мұнай ресурстарын игеріп жатқан бес мемлекеттің орналасуы және антропогендік процестер әсерінен жағалау сызығының өзгеруі; в -техногендік процестерден туындаған жағалау сызығының өзгерістері.

Біздің зерттеулер Қазақстан Республикасының «Каспий теңізінің мұнаймен ластануы ғарыштық радиолокация деректері бойынша» жобасы аясында жүргізілді, бұл жоба Каспий өңірінің мәселелері жөніндегі халықаралық қоғамдық ұйым — ISAR-пен бірлесіп жүзеге асырылды [6].

Қазіргі уақытта теңіз деңгейі жылына 12,5 смге дейін көтерілуде. Егер бұл қарқын сақталса, 25–30 жыл ішінде теңіз деңгейі 1929 жылғы көрсеткіштерге жетіп, жағалауда орналасқан елді мекендер үшін апатқа және миллиардтаған шығындарға әкелуі мүмкін. Табиғат өзі бұзылған тепе-теңдікті қалпына келтіреді. Алайда бұған жол беруге болмайды, өйткені жағалаудың басым бөлігі адамдар қоныстанған аумақтар болып табылады, ал теңіз деңгейінің көтерілуі жаңа апат қаупін туғызады.

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, Каспий теңізі өңірдің ортақ нысаны болып табылатынын, ал бұл дағдарыс әрбір мемлекеттің стратегиялық жоспарларына және оның даму перспективаларына әсер ететінін қорытындылауға болады. Жер бетінің техногендік шөгуін (ЖБШ) теориялық есептеу нәтижелерінің дәлдігі геодезиялық қайталап нивелирлеуден төмендеу. Дегенмен, жер бетінің шөгуін геодинамикалық полигондарды жобалау кезінде (максимал ЖБШ орындарын анықтауда) және есептелген шөгулердің шамаларын қайталап нивелирлеу нәтижелерімен салыстыру үшін анықтау қажет.

Мұнайгазды қабаттарды игеру кезіндегі олардың жай-күйі табиғи және техногендік факторларға тікелей байланысты. Табиғи факторлар қабаттағы мұнайгазды коллекторлардың құрылымы мен ондағы таужыныстарының қасиеттерінен тұрады. Ал техногендік факторларға: пайдаланылатын және тартып алатын ұңғымаларды орналастыру тәсілдеріне, мұнай өндірудің қарқынына, жер қойнауына сұйықтардың жіберілуіне және т.б. жатады. Мұнай өндіру кезінде қабаттық қысым өзгеріп отырады. Қабаттық қысым азайғанда, мұнай қабаты қаңқасын сығатын қысым ұлғаяды, ал қабаттық қысым көбейгенде, қаңқаны сығатын қысым азаяды.

Мұнай коллекторларындағы саңлаулардың көлеміне бірнеше факторлар әсер етеді:

Бірінші фактор: қабаттық қысым төмендегенде тау жыныстарындағы түйіршіктердің көлемі ұлғая түседі, салдарынан саңлаулар көлемі кішірейеді.

Екінші фактор: қабаттық қысым төмендегенде тау жыныстарындағы түйіршіктер деформацияға ұшырайды, сөйтіп түйіршіктер арасы ашыла түседі, ол өз кезегінде саңлаулар көлемін кішірейтеді.

Осындай факторларды ескере келе Жер бетінің техногендік шөгуін қабат төбесінің шөгуі арқылы есептеуге болады

Қазіргі кезде ЖБШ есептеудің бірнеше әдістері бар. Кенді игеру кезіндегі жер бетінің шөгуін есептеуде, көптеген әдістердің ішіндегісі ЖБШ есептеудің С. Авершин ұсынған теңдеуі[7]:

$$\frac{\partial \eta}{\partial z} = a(z)\frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2}, \qquad (1)$$

Р.Муллер ұсынған теңдеуде [8] вертикаль Z өсіне байланысты коэффициент қабылданған:

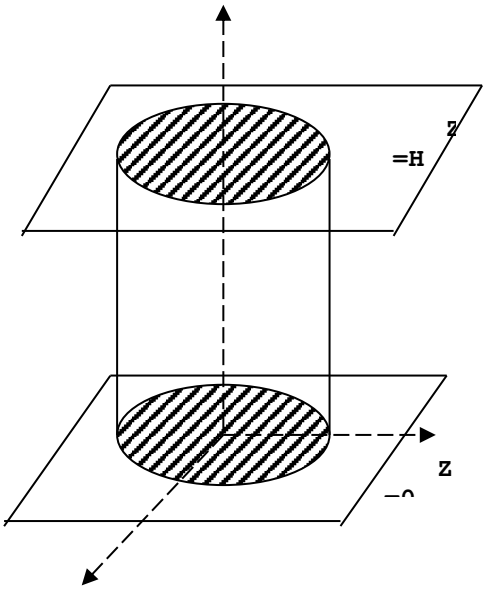
$$\frac{\partial \eta}{\partial z} = a(z)\left[\frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2}\right], \qquad (2)$$

Ал, Е. Литвинишин өз зерттеулерінің нәтижесінде басқа теңдеу алған:

$$\frac{\partial \eta}{\partial z} = a(z)\left[\frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2}\right] + f, \qquad (3)$$

Осы теңдеулердің барлығында η – жер беті шөгуінің шамасы; $a(z)$ – вертикаль z өсі бойымен тау жыныстары қасиеттерінің өзгеруі; x, y, z– тік бұрышты координаталар.

Мұнай қабатының нақтылы жатыс жағдайын ең дұрыс бейнелейтін теңдеу (2.8), бірақ бұл теңдеуде үш шаманы (x, y, z) анықтау қажет. Есептеулерді жүргізу үшін координаталардың цилиндрлік жүйесін енгіземіз (2- сурет).



2 – сурет. Координатаның цилиндрлік жүйесі: α – жер бетінің жазықтығы; β – төбе қабатының жазықтығы; Н- қабаттың жатыс тереңдігі; r - қабат радиусы.

Кенорны төбесінің центрі координаталардың басы болып есептеледі. Мұнай қабаты Н тереңдігінде орналасқан және оның радиусы – *r* тең. Бұл жүйеде (3) теңдеуі келесідей болып түрленеді:

$$\frac{\partial \eta}{\partial z} = \left[\frac{\partial^2 \eta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial r^2} \right] \cdot a(z), \quad (4)$$

Егер жер бетінің шөгуі бұрышқа емес, тек координаталарға байланысты болса, онда келесідей параболалық теңдеу алынады:

$$\frac{\partial \eta}{\partial z} = \left[\frac{\partial^2 \eta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial r} \right] \cdot a(z), \quad (5)$$

Бұл (5) теңдеудің іс жүзіндегі шешуі [9] монографияда жан-жақты қаралған және онда келесідей формула ұсынылған:

$$\theta_{i,K+1} = \frac{1}{2}\theta_{i,K} + \frac{1}{4}\left(\theta_{i-1,K} - \theta_{i+1,K}\right) + \frac{1}{8i}\left(\theta_{i-1,K} - \theta_{i+1,K}\right), \quad (6)$$

мұндағы $\theta_{i,K}$ – шөгудің мәні; *i*-шеңбердегі горизонталь қадамның нөмірі; *К*– вертикаль қадамның нөмірі.

Алынған осы формула бойынша бірнеше кенорындары аймақтарындағы жер бетінің шөгулері анықталды. Қабаттық қысымның төмендеу шамасы Танатаркенорнында 8,9 МПа, Макатта -6.0 МПа, Ботаханда -5,9 МПа жетті. Мақат кенорнындағы қабат төбесінің максимал шөгу жылдамдығы (1974-1976 жж аралығындағы) 64 мм тең болды. ЖБШ мұндай жылдам шөгуіне - Мақат кенорнындағы қабаттық қысымның төмендеуі және игеріліп жатқан мұнай қабатының қалыңдығы себеп болды.

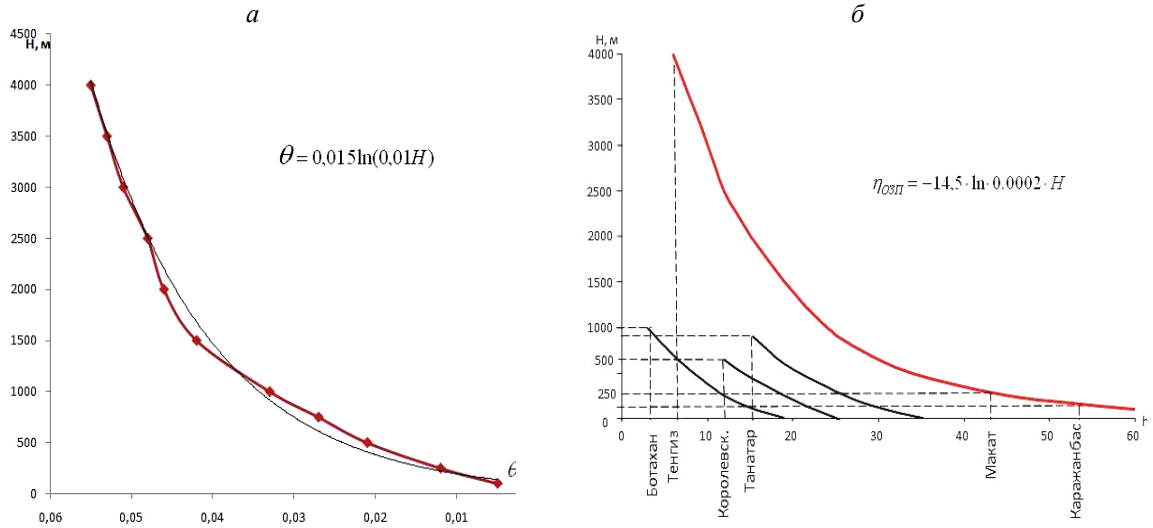
Егер кенорындарын қабат төбелерінің шөгуімен салыстырсақ, онда максимал шөгу 5 жыл ішінде θ=58 мм немесе шөгу жылдамдығы V=12 мм/жыл тең болған, мұнай қабатының қалыңдығы - m=1500 метрлік Теңіз кенорны.

Мұндағы шөгудің аз шамасы кенорнында қабаттық қысымды (2.6 МПа) бір дәрежеде ұстап тұруға және қабаттың серпімділік қасиетіне байланысты болған деп білеміз. Қабат төбесінің шөгуін (ҚТШ) теория жүзінде анықтағаннан кейін, осы шөгушамасының қандай бөлігі жер бетінде көрініс беретіндігін болжау, яғни ЖБШ-ін анықтау туындайды.

Бұл мәселені шешу үшін қарастырылып отырған кенорындарының (1-суретке сәйкес) тереңдігі *Н*=3500 м және ҚТШ-нің максималмәні ≈60 мм деп аламыз.

Әрі қарай 0_1 өсі бойынша 0 нүктеден 500,0; 100,0; 1500,0 и 3500,0 м арақашықтықта орналасқан нүктелердің шөгулері анықталады. Олардың мәндері (6) формуласында белгіленгендей $\theta_{0,2}$ ($\theta_{1,1}$), $\theta_{0,3}$ ($\theta_{1,2}$), $\theta_{0,4}$ ($\theta_{1,3}$), $\theta_{0,5}$ ($\theta_{1,4}$), $\theta_{0,6}$ ($\theta_{1,5}$), $\theta_{0,7}$ ($\theta_{1,6}$), $\theta_{0,8}$ ($\theta_{1,7}$) және т.б. болып анықталады.

Бұл формула бойынша есептеулер жүргізу өте қиынға соғатындықтан ҚТШ мен ЖБШ алдын-ала есептеудің экспресс-әдістемесі ұсынылды. Жүргізілген теориялық есептеулер нәтижесінде ҚТШ-нің кен игеру тереңдігімен-Н графиктік-аналитикалық байланысы алынды (3, а-сурет).



3-сурет. а) ҚТШ-нің кен игеру тереңдігімен-Н графиктік-аналитикалық байланысы
б) Жер беті шөгуінің (ЖБШ) қабат төбесінің шөгуі (ҚТШ) мен кен игеру тереңдігіне-Н байланысының графигі

Бұл (3,а –суреттен) сұйықтарды игерудің тереңдігі арқан сайын қабаттық қысымның жоғарылайтындығын және тереңдік аз болғанда ҚТШ-нің мәні жоғары екендігін байқауға болады.

$$\theta_{exp} = 0{,}015ln(0{,}01 \cdot H) \quad (7)$$

Ал, мұнай өндірудің жер беті шөгуіне әсерін зерделеген кезде, кен игерудің тереңдігі артқан сайын, деформациялардың шамасы, керісінше кішірейе түседі. Осы айтылғанға байланысты жер бетінің шөгуін (ЖБШ) қабат төбесінің шөгуі (ҚТШ) мен тереңдікке-Н байланыстырып болжаудың графиктік-аналитикалық байланысы алынды (3,б-сурет), мұнда абсцисса өсіне жер бетінің шөгуі салынған.

Сөйтіп, ЖБШ-ін болжау үшін графиктік-аналитикалық байланыстардың екі түрі ұсынылады: экспоненциалдық (логарифмдік) және сызықтық.

$$\theta_{exp} = 0{,}015ln(0{,}01 \cdot H) \quad (8)$$

Сөйтіп, ЖБШ-ін болжау үшін графиктік-аналитикалық байланыстардың екі түрі ұсынылады: экспоненциалдық (логарифмдік) және сызықтық.

$$\eta_{ОЗПexp} = -14{,}5 * ln * (0{,}0002H) \quad (9)$$

қиыспаушылығы 6,8% және сызықтық

$$\eta_{ОЗПлин} = 45{,}5 - 0{,}0127H \quad (10)$$

Жоғарыдағы графиктен, Н = 4 км тереңдікте кен игеру кезінде 60 мм-лік қабат төбесі шөгуінің жер бетіне оның 6 мм бөлігі ғана әсер ететіндігін көруге болады.

Кенқияк, Құлсары, Орысқазған кенорындары бойынша қабат төбесі шөгуі 60 мм аз болды, ал кен өндірудің тереңдігі 1000 төмен және оның жер бетіне әсері де жоқ, яғни ЖБШ нөлге тең.

Бұл кенорындарына қарағанда Мақат, Таңатар, Ботахан кенорындарында керісінше (2.3-кесте) азғана тереңдікте қабаттық қысым төмендейді, сондықтан жер беті әжептеуір шамаға шөгетіндігі күтіледі. Сондықтан да, әр кенорындары үшін жер бетінің шөгу жылдамдықтары есептелді және есептеу нәтижесі 1--кестеде келтірілген.

1-кесте.

Жер бетінің техногендік жылжулары жылдамдықтарының есептелген мәндері

Кенорындары	Игеру мезгілдері	$V_{жбш.}$ мм/жыл
Мақат (Атырау облысы)	1931 – 1990 гг.	43
Қаражанбас (Манғыстауоблысы)	1984 – 2000 гг.	52
Таңатар (Атырау облысы)	1961 – 2000 гг.	18
Королевское (Атырау облысы)	1982 – 2002 гг.	12
Ботахан (Атырау облысы	1980 – 2002 гг.	4
Теңіз (Атырау облысы)	1989 – 2004 гг.	10

Кестеден көрініп тұрғандай жер беті шөгуінің (ЖБШ) м максимал жылдамдықтары Қаражанбас, Мақатжәне Таңатаркенорындарына тәнғы және олардың мәндері жылына 52, 43 және 18 мм көрсетеді.

Сөйтіп, жүргізілген теориялық зерттеулер ҚТШ-нің техногендік шөгулерін алдын-ала есептеуге болатындығын көрсетті. Қалыңдығы кіші кенорындары ҚТШ туындатады, ал ол шөгудің жер бетіне әсері болмайды, ал Қаражанбас, Теңіз, Королевское және сол сияқты қалың кенорындары ҚТШ-де, ЖБШ туындатады [10].

Қорытынды. Мұнай-газ өндірілетін аудандардағы геодинамикалық зерттеулер саласындағы, оның ішінде аспаптық бақылаулардағы отандық және шетелдік тәжірибеге жан-жақты талдау жүргізілді, бұл мұнай қабаты төбесінің шөгуін (ҚТШ) теориялық анықтау әдістемесін әзірлеуге және осының негізінде жер бетінің шөгуін (ЖБШ) болжауға мүмкіндік туды. Мұнай қабаты төбесінің шөгуі (ҚТШ) деректері бойынша жер бетінің шөгуін (ЖБШ) болжау әдістемесінің жаңалығы технологиялық көрсеткіштер мен жер бетінің және қабат төбесі деформациялануының өзара әрекеттестігін теориялық қамсыздандырудан тұрады.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Сидоров В.А. Прогноз и контроль геодинамической обстановки в регионах Каспийского моря в связи с развитием нефтегазового потенциала// М.: Научный мир– 2006. –С. 13.

2. Козырев А.А., Панин В.И. Изменение геодинамического режима геологической среды при крупномасштабном освоении недр//М.: Освоение недр и экологические проблемы, Изд. АГН, –2001. – С. 111-121.

3. Мазницкий С. Совершенстование прогноза нефтегазоносных недр Украины и Белорусии// Наукова думка, Киев, – 1989. –С.101-106.

4 Кульдеев Е. И., Нурпеисова М. Б., Кыргизбаева Г. М. Освоение недр и экологическая безопасность. — Deutsschland LAP LAMBERT, 2021. — 234 pp. ISBN 978-620-4-20609-7

5. Нурпеисова М.Б., Кенесбаева А. Прогноз техногенной опасности земной поверхности//Горный журнал Казахстана, – 2018. №11. – С.5-8.

6. Сейтмуратова Э.Ю., Зейлих Б.С., Даутбаев Д.О. Прогнозирование месторождении полезных ископаемых на основе данных ДЗЗ //Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук, №6, 2018. – С.198-210.

7. Авершин С.Г. Сдвижение горных пород при подземных разработках//М.: Углетехиздат, – 1994. – С. 245.

8. Муллер Р.А. Влияние горных выработок на деформацию земной поверхности// Л.:Углетехиздат, – 1978. – С. 150.

9. Экологическая и промышленная безопасность освоения недр//под общей редакцией М. Нурпеисовой.-Алматы.: КазНИТУ – 2016. – С. 435.

10. Жардаев М.К. Совершенствование методики проведения геодинамического мониторинга деформаций земной поверхности при освоении нефтегазовых месторождений. Дис....кан.техн.наук. Алматы, 2005. - 120 с.

ҚАРАТАУ ФОСФОРИТ КЕН ОРЫНДАРЫНЫҢ ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ГЕОМЕХАНИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАР ЗЕРТТЕУ

Алекпаев С.М.
магистрант, Satbaye University, Алматы, Казахстан
Мадимарова Г.С.
профессор, т. ғ.к,, Satbayev University, Алматы, Казахстан

STUDY OF GEOLOGICAL AND GEOMECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE KARATAU PHOSPHORITE DEPOSITS

Alekpayev S.
Master's Student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
Madimarova G.
Professor, Candidate of Technical Sciences, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.20152412

Аңдатпа

Қаратау фосфоритті бассейніндегі кен орындарының геологиялық құрылымы мен геомеханикалық ерекшеліктерін зерттеу тау-кен жұмыстарын тиімді және қауіпсіз жүргізу үшін маңызды болып табылады. Аталған аймақ күрделі геологиялық жағдайларымен, әртүрлі литологиялық құрамымен және тектоникалық бұзылыстардың кең таралуымен ерекшеленеді, бұл өз кезегінде жыныс массивінің тұрақтылығына айтарлықтай әсер етеді.

Abstract

The study of the geological structure and geomechanical characteristics of deposits within the Karatau phosphorite basin is essential for ensuring efficient and safe mining operations. The region is characterized by complex geological conditions, a diverse lithological composition, and a wide distribution of tectonic disturbances, all of which significantly influence the stability of the rock mass.

Түйін сөздер: геология, геомеханика, фосфорит кен орны, жарықшақтылық, жыныс массиві, тектоника.

Keywords: geology, geomechanics, phosphorite deposits, fracturing, rock mass, tectonics.

1.Кіріспе

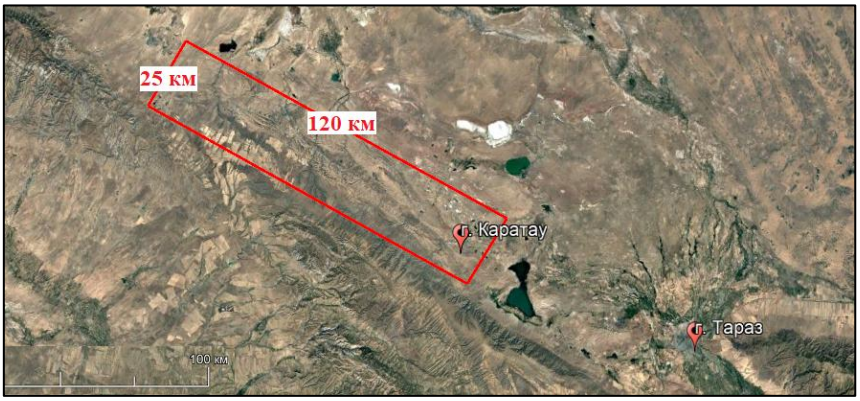
Тау-кен өндіру өнеркәсібі жоғары тәуекел деңгейімен сипатталатын салалардың бірі болып табылады. Әсіресе ашық әдіспен игерілетін кен орындарында жыныс массивінің тұрақтылығы мен құрылымдық ерекшеліктерін ескеру аса маңызды, себебі бұл факторлар өндірістік қауіпсіздікке, техникалық шешімдердің тиімділігіне және экономикалық көрсеткіштерге тікелей әсер етеді. Қазіргі таңда пайдалы қазбаларды игеру көлемінің артуы тау-кен жұмыстарының күрделенуіне алып келіп, геологиялық жағдайларды тереңірек зерттеуді талап етеді.

Карьерлердің тұрақтылығы жыныстардың геологиялық құрылымына, физика-механикалық қасиеттеріне, жарықшақтылық дәрежесіне және тектоникалық бұзылыстардың таралуына байланысты. Жыныс массивіндегі жарықшақтар, жарылымдар және қабаттардың орналасу ерекшеліктері еңістердің тұрақтылығына айтарлықтай әсер етеді. Сондықтан геологиялық және геомеханикалық зерттеулер тау-кен жұмыстарын жоспарлаудың және жобалаудың негізгі бөлігі болып табылады. Жыныс массивінің жағдайын дұрыс бағаламау карьер борттарының опырылуына, өндірістік қауіптердің артуына және экономикалық шығындардың көбеюіне әкелуі мүмкін.

Осы жұмыста Қаратау фосфоритті бассейніндегі кен орындарының геологиялық құрылымы, жыныс массивінің қасиеттері және олардың геомеханикалық ерекшеліктері қарастырылады. Зерттеу нәтижелері тау-кен жұмыстарын жоспарлау кезінде геологиялық факторларды ескеруге және өндірістік қауіпсіздікті арттыруға бағытталған.

Зерттеу нысаны

Қаратау фосфоритті бассейні Жамбыл және Оңтүстік Қазақстан облыстары аумағында орналасқан және ұзындығы шамамен 120 км, ені орташа есеппен 25 км болатын ірі минералдық белдеу болып табылады. Бұл аймақ Қазақстандағы фосфорит шикізатының негізгі қорлары шоғырланған маңызды өнеркәсіптік аудандардың бірі ретінде қарастырылады.



1-сурет – Қаратау фосфоритті бассейнінің орналасу аймағы

Бассейн аумағында 48 фосфорит кен орны анықталған, олардың жалпы болжамдық қоры шамамен 13,7 млрд тоннаға бағаланады. Кен орындарының мұндай көп мөлшерде шоғырлануы аймақтың геологиялық тұрғыдан ерекше қалыптасу жағдайларымен байланысты. Сонымен қатар, кен орындары әртүрлі геологиялық құрылымдармен және литологиялық құрамымен ерекшеленеді, бұл оларды игеру барысында әртүрлі тәсілдерді қолдануды талап етеді.

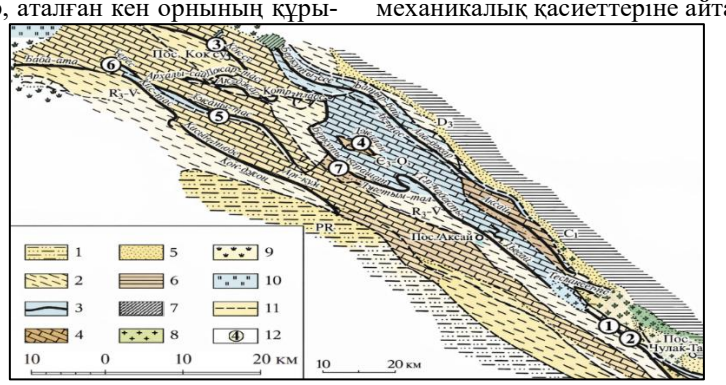
Кен орындары жақсы дамыған инфрақұрылыммен қамтамасыз етілген. Атап айтқанда, автомобиль жолдары мен теміржол желілері арқылы өндірілген шикізатты тасымалдау мүмкіндігі бар, сондай-ақ электр энергиясымен тұрақты қамтамасыз ету жүйесі қалыптасқан. Бұл жағдайлар тау-кен жұмыстарын жүргізуді жеңілдетіп, өндірістің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Зерттеу барысында Шийлібұлақ кен орны негізгі объект ретінде қарастырылды. Бұл кен орны бассейннің оңтүстік-шығыс бөлігінде орналасқан және геологиялық құрылымы жағынан Қаратау бассейнінің жалпы ерекшеліктерін жақсы бейнелейді. Сонымен қатар, аталған кен орнының құрылымдық ерекшеліктері, жыныс құрамының әртүрлілігі және тектоникалық бұзылыстардың болуы оны зерттеу үшін қолайлы нысан ретінде таңдауға негіз болды.

2.Геологиялық құрылымы

Шийлібұлақ кен орны күрделі геологиялық құрылымымен сипатталады және Қаратау фосфоритті бассейнінің негізгі ерекшеліктерін айқын көрсететін нысандардың бірі болып табылады. Кен орнының қалыптасуы ұзақ геологиялық кезеңдер барысында әртүрлі шөгінді жыныстардың жинақталуымен және кейінгі тектоникалық процестердің әсерімен байланысты.

Кен орнының геологиялық құрылымында екі негізгі шөгінді кешен ажыратылады: терригендік және карбонатты жыныстар. Терригендік жыныстар құмтастар, алевролиттер және сазды жыныстардан тұрып, салыстырмалы түрде әлсіз байланысқан және беріктігі төмен болып келеді. Ал карбонатты жыныстар тығыз құрылымымен және жоғары беріктігімен ерекшеленеді, олардың құрамына әктастар мен доломиттер кіреді. Сонымен қатар, карбонатты жыныстардағы жарықшақтылық олардың механикалық қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді.



2-сурет – Қаратау фосфоритті бассейнінің геологиялық құрылымының сұлбасы

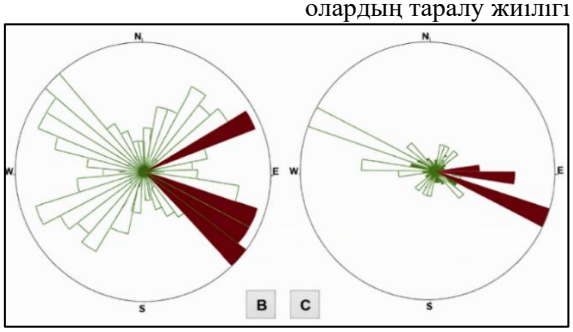
Фосфоритті қабат Чулақтау свитасымен байланысты және шайылу беті арқылы орналасқан. Бұл қабат кен орнының негізгі пайдалы компонентін құрайды және оның қалыңдығы шамамен 11 м-ге жетеді. Карьер түбінің белгісі +680 м деңгейінде орналасқан. Кен орны ірі тектоникалық бұзылыстармен шектелген, олар негізінен ығысу типті болып келеді және ұзақ геологиялық даму нәтижесінде қалыптасқан. Бұл бұзылыстар жыныс массивінің құрылымына әсер етіп, оның жарықшақтану дәрежесін арттыруы мүмкін.

Жыныс массивінің маңызды сипаттамаларының бірі — оның жарықшақтылық дәрежесі. Жарықшақтардың саны, бағытталуы және кеңістікте таралуы массивтің механикалық мінез-құлқын анықтайды. Зерттеу барысында екі учаскеде өлшеулер жүргізілді: В учаскесінде 300 м аралықта 67 жарықшақ, ал С учаскесінде 350 м аралықта 83 жарықшақ анықталды. Жарықшақтар бағдарлану бағыты, құлау бұрышы, жиілігі және тығыздығы бойынша сипатталып, олардың негізінде жыныс массивінің

құрылымдық ерекшеліктері анықталды. Статистикалық өңдеу нәтижесінде негізгі жарықшақ жүйелері белгіленіп, олардың карьер борттарының тұрақтылығына әсері бағаланды.

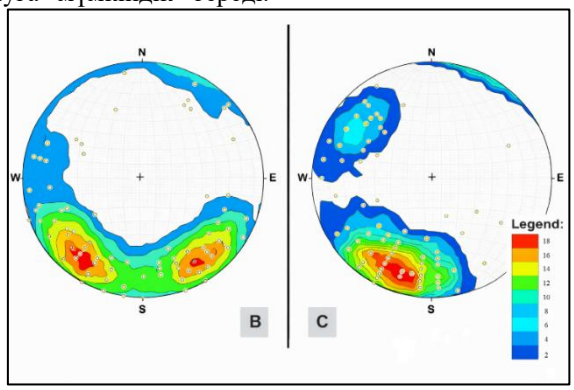
3-сурет – А және В учаскелеріндегі карбонатты қабаттағы жарықшақтардың көрінісі

Жыныс массивінің жарықшақтылығын зерттеу үшін бірнеше талдау әдістері қолданылды. Олардың ішінде кеңінен таралған әдістердің бірі – роза-диаграммалар, олар жарықшақтардың негізгі бағыттарын анықтауға мүмкіндік береді. Бұл әдіс арқылы жарықшақтардың басым бағыттары мен олардың таралу жиілігі көрнекі түрде көрсетіледі.



4-сурет – Зерттелген учаскелердегі жарықшақ бағыттарының роза-диаграммалары

Сонымен қатар, стереографиялық проекциялар қолданылды. Бұл әдіс жарықшақтардың кеңістіктегі орналасуын, олардың құлау бұрыштарын және өзара байланысын анықтауға мүмкіндік береді. Стереографиялық талдау нәтижесінде жыныс массивіндегі негізгі құрылымдық элементтер айқындалады.



5-сурет – Жарықшақ полюстерінің тығыздық стереограммалары

Жиналған мәліметтерді өңдеу барысында статистикалық талдау әдістері де қолданылды. Бұл әдістер жарықшақтардың таралу заңдылықтарын анықтауға, олардың тығыздығын бағалауға және жыныс массивінің құрылымдық моделін құруға мүмкіндік береді.

2.Геомеханикалық ерекшеліктер

Жыныс массивінің геомеханикалық қасиеттері оның тұрақтылығына тікелей әсер ететін негізгі факторлардың бірі болып табылады. Әсіресе карьер жағдайында жыныстардың беріктігі, жарықшақтылық деңгейі және құрылымдық ерекшеліктері үлкен маңызға ие. Зерттеу нәтижесінде карбонатты жыныстарда жарықшақтылық деңгейінің жоғары екендігі анықталды. Бұл олардың тектоникалық бұзылыстар әсеріне көбірек ұшырағанын көрсетеді. Сонымен қатар, тектоникалық процестер жарықшақтардың қалыптасуын күшейтіп, жыныс массивінің тұтастығын әлсіретеді.

Жыныс массиві блоктық құрылымға ие екендігі байқалды. Бұл оның жеке блоктарға бөлінетінін және олардың әрқайсысы өз алдына тұрақтылық қасиеттеріне ие екенін көрсетеді. Мұндай құрылым карьер борттарының тұрақтылығын бағалау кезінде міндетті түрде ескерілуі тиіс.

Элементарлық блоктарды модельдеу нәтижесінде жыныс массивінің орташа тұрақтылық деңгейі бағаланды. Алынған нәтижелер жыныс массивінің кейбір учаскелерінде тұрақтылықтың төмендеуі мүмкін екенін көрсетіп, қосымша инженерлік шараларды қолдану қажеттігін негіздейді.

3.Нәтижелер

Зерттеу нәтижесінде Қаратау фосфоритті бассейніндегі кен орындарының геологиялық және геомеханикалық ерекшеліктеріне кешенді талдау жүргізілді. Жүргізілген зерттеулер барысында бассейн аумағында таралған жыныстардың құрылымдық ерекшеліктері, олардың литологиялық құрамы және тектоникалық бұзылыстардың рөлі анықталды.

Анықталғандай, Қаратау бассейнінің кен орындары күрделі геологиялық құрылымға ие және әртүрлі жыныс кешендерінің үйлесуімен сипатталады. Терригендік және карбонатты жыныстардың өзара орналасуы жыныс массивінің жалпы қасиеттеріне әсер етеді. Сонымен қатар, тектоникалық бұзылыстардың кең таралуы жыныстардың құрылымдық жағдайын күрделендіріп, олардың тұрақтылығына қосымша әсер етеді.

Жыныс массивінің жарықшақтылығы жоғары деңгейде екендігі және оның кеңістікте біркелкі таралмағаны анықталды. Жарықшақтардың бағытталуы мен тығыздығы жыныстың механикалық қасиеттеріне тікелей әсер ететіні байқалды. Әсіресе негізгі жарықшақ жүйелері жыныс массивінің блоктық құрылымын қалыптастырып, оның тұрақтылық деңгейін анықтайды.

Сонымен қатар, зерттеу нәтижелері тектоникалық бұзылыстардың кен орнының геологиялық құрылымын қалыптастырудағы негізгі факторлардың бірі екенін көрсетті. Бұл бұзылыстар жыныстардың жарықшақтану дәрежесін арттырып, олардың беріктігін төмендетуі мүмкін. Жалпы алғанда, алынған нәтижелер жыныс массивінің тұрақтылығын бағалау кезінде геологиялық факторларды кешенді түрде қарастыру қажеттігін көрсетеді.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу Қаратау фосфорит кен орындарының геологиялық және геомеханикалық ерекшеліктерін жан-жақты талдауға мүмкіндік берді. Зерттеу барысында жыныс массивінің құрылымы, оның жарықшақтылық деңгейі және тектоникалық бұзылыстардың әсері анықталып, олардың өзара байланысы қарастырылды.

Анықталған нәтижелер жыныс массивінің тұрақтылығы көптеген факторларға тәуелді екенін көрсетті. Әсіресе жыныстардың литологиялық құрамы, жарықшақтылық дәрежесі және тектоникалық бұзылыстардың таралуы негізгі рөл атқарады. Бұл факторларды ескермей тау-кен жұмыстарын жүргізу өндірістік қауіптердің артуына алып келуі мүмкін.

Осыған байланысты кен орындарын игеру кезінде геологиялық және геомеханикалық мәліметтерді кешенді түрде пайдалану қажет. Бұл карьер борттарының тұрақтылығын қамтамасыз етуге, қауіпті жағдайлардың алдын алуға және өндірістік процестердің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Жалпы алғанда, жүргізілген зерттеулер нәтижелері тау-кен жұмыстарын жоспарлау мен ұйымдастыру кезінде қолдануға болатын маңызды ғылыми негіз ретінде қарастырылуы мүмкін.

Әдебиеттер тізімі

1. Нұрпейісова М.Б. Жер қойнауын игерудің экологиялық және өнеркәсіптік қауіпсіздігі. – Алматы: ҚазҰТУ, 2016. – 456 б.

2. Нұрланқызы Т., Сүлейменова Д.Н., Жантуева Ш.А. Қаратау бассейніндегі кен орындары жыныстарының физика-механикалық қасиеттерін зерттеу. Маркшейдерия және жер қойнауын пайдалану. – 2024. – №2. – 46–50 б.

3. Мурсалимова Э.А., Шаймерденова А.А., Қадірқұлов Н.А., Мадимарова Г.С., Аугамбаев К.К. Фосфорит кен орындарының жерлерін мониторингтеу кезінде NDVI индексін қолдану. Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ хабаршысы. – 2023. – №3. – 88–96 б.

4. «Қазфосфат» ЖШС. «Қаратау» ТКК кен орындарының геологиялық құрылысы бойынша материалдар. – 2019.

5. Madimarova G.S., Nurpeissova T., Kairatov D., Suleimenova D.N., Zhantyeva S.A. GNSS monitoring of the state geodetic network in Kazakhstan. News of the NAS RK. Series of Geology and Technical Sciences. – 2024. – №1. – P. 179–189.

6. Hoek E., Bray J. Rock Slope Engineering. – London: Institution of Mining and Metallurgy, 1981.

7. Goodman R.E. Introduction to Rock Mechanics. – New York: Wiley, 1989.

ГЕОКЕҢІСТІКТІК ЖӘНЕ СТАТИСТИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕР АРҚЫЛЫ ҚАПШАҒАЙ СУ ҚОЙМАСЫНЫҢ УАҚЫТТЫҚ ӨЗГЕРІС ДИНАМИКАСЫН МОНИТОРИНГТЕУ

Жакыпбек Ы.
PhD, профессор, Satbayev University, Алматы, Казахстан,
Адилгереева А.Т.
магистрант, Satbayev University, Алматы, Казахстан

MONITORING THE TEMPORAL DYNAMICS OF THE KAPCHAGAY RESERVOIR USING GEOSPATIAL AND STATISTICAL DATA

Zhakypbek Y.
PhD, Professor, Satbayev University Almaty, Kazakhstan
Adilgeryeva A.
Master's student, Satbayev University Almaty, Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.20152444

Аңдатпа

Мақалада геокеңістіктік және статистикалық деректер негізінде Қапшағай су қоймасы өзгерістерінің уақытша динамикасының кешенді мониторингінің нәтижелері келтірілген. Бастапқы материалдар ретінде 1977-2025 жылдар аралығындағы Landsat сериясының мұрағаттық спутниктік суреттері пайдаланылды, бұл акваторияның көпжылдық өзгерістерін ретроспективті талдауға мүмкіндік берді. Зерттеу нәтижелері су қоймасын трансформациялаудың кеңістіктік-уақыттық ерекшеліктерін көрсетеді және су ресурстарын бақылау үшін Жерді қашықтықтан зондтау мен геоақпараттық технологияларды біріктірудің тиімділігін растайды. Жұмыстың практикалық маңыздылығы-аймақтың су шаруашылығы жағдайын бағалау және табиғатты ұтымды пайдалану саласындағы басқару шешімдерін әзірлеу кезінде алынған деректерді пайдалану мүмкіндігі.

Abstract

The article presents the results of comprehensive monitoring of the temporal dynamics of changes in the Kapchagai reservoir based on geospatial and statistical data. The archival satellite images of the Landsat series for the period 1977-2025 were used as source materials, which made it possible to perform a retrospective analysis of long-term changes in the water area. The results of the study demonstrate the spatial and temporal features of reservoir transformation and confirm the effectiveness of integrating remote sensing of the Earth and geoinformation technologies for monitoring water resources. The practical significance of the work lies in the possibility of using the data obtained in assessing the water management situation in the region and developing management solutions in the field of environmental management.

Түйінді сөздер: Капшағай су қоймасы, мониторинг, уақыттық динамика, қашықтықтан зондтау, геокеңістіктік деректер, NDWI, MNDWI, статистикалық талдау.

Keywords: Kapchagay Reservoir, monitoring, temporal dynamics, remote sensing, geospatial data, NDWI, MNDWI, statistical analysis.

Кіріспе

Қазіргі кезеңде су ресурстарын тиімді басқару және олардың жағдайын жүйелі түрде бақылау мәселесі жаһандық деңгейде өзекті болып отыр. Климаттық өзгерістер, антропогендік жүктеменің артуы және су тұтыну көлемінің ұлғаюы ірі су айдындарының гидрологиялық режиміне тікелей әсер етеді. Осы тұрғыда су қоймаларының кеңістіктік-уақыттық өзгерістерін зерттеу ғылыми және практикалық маңызға ие.

Қазақстан аумағындағы стратегиялық маңызы бар су нысандарының бірі — Қапшағай су қоймасы. Аталған су қоймасы өңірдің энергетикалық, суармалы егіншілік және шаруашылық қажеттіліктерін қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Сонымен қатар, су деңгейінің ауытқуы жағалау аймақтарының экологиялық жағдайына, гидрологиялық тепе-теңдікке және табиғи кешендердің тұрақтылығына әсер етеді.

Соңғы онжылдықтарда қашықтықтан зондтау деректері мен геоақпараттық технологиялардың дамуы су айдындарының өзгерісін дәл әрі жедел бағалауға мүмкіндік берді. Спутниктік суреттер негізінде су бетінің ауданын анықтау, динамикасын талдау және статистикалық өңдеу әдістері кеңінен қолданылады. Әсіресе Landsat сериялы көпжылдық архивтік деректер ұзақ мерзімді мониторинг жүргізуге қолайлы болып табылады.

Осы зерттеудің мақсаты — Қапшағай су қоймасының 1977–2025 жылдар аралығындағы уақыттық өзгеріс динамикасын геокеңістіктік және статистикалық деректер негізінде кешенді талдау. Зерттеу барысында спутниктік суреттерден су айдынын бөліп алу үшін спектралдық индекстер (NDWI, MNDWI) қолданылып, алынған нәтижелерге статистикалық талдау жүргізілді.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы су қоймасының көпжылдық өзгерістерін кеңістіктік талдау мен сандық бағалауды біріктіру арқылы кешенді мониторинг жүргізуде көрінеді. Алынған нәтижелер өңірдің су ресурстарын басқару жүйесін жетілдіруде және табиғи-шаруашылық процестерді болжауда қолданылуы мүмкін.

Зерттеу нысанының сипаттамасы

Зерттеу нысаны — Қапшағай су қоймасы. Су қоймасы Алматы облысы аумағында орналасқан және Іле өзені негізінде қалыптасқан ірі жасанды су айдыны болып табылады (1-сурет). Ол энергетикалық өндіріс, суармалы егіншілік, балық шаруашылығы және рекреациялық мақсаттарда кеңінен пайдаланылады. Су деңгейінің ауытқуы аймақтың гидрологиялық режиміне, жағалау белдеуінің морфологиясына және экожүйелік тұрақтылығына әсер етеді[1].

Қапшағай су қоймасы Іле өзенінің ағысы негізінде қалыптасқан. Өзеннің тау салалары — Шілік, Шарын, Түрген, Есік, Қаскелен, Үлкен және Кіші Алматы өзендері су қоймасына сол жақтан құяды. Тауаралық бөліктерде бұл өзендер ағысының жылдамдығы жоғары және су көлемі мол болады, бұл су қоймасының гидрологиялық режиміне тікелей ықпал етеді[1].

Сурет – 1. Қапшағай су қоймасының ғарыштық көрінісі

Аймақ климаты айқын континенталды. Жаз мезгілі ыстық әрі құрғақ, ал қыс суық және салыстырмалы түрде қар аз түсетін кезеңмен сипатталады. Қаңтар — ең суық ай, орташа температурасы теріс мәндерге (-5°С-тен -9°С-қа дейін) төмендейді, ал абсолюттік минимум -44°С-қа дейін жетеді. Шілде айы ең ыстық кезең болып саналады, орташа температурасы +21°С пен +24°С аралығында, ал абсолюттік максимум +45°С шамасына жетеді. Жылдық жауын-шашын мөлшері 200–300 мм аралығында, оның басым бөлігі көктем мезгілінде түседі. Күз айлары салыстырмалы түрде құрғақ келеді[2].

Жел режимі де су қоймасының табиғи ерекшеліктерінің бірі болып табылады. Батыс бағыттағы желдер басым, ал су мен құрлық арасындағы температура айырмашылығына байланысты жағалау аймақтарында бриздік желдер қалыптасады. Қыс мезгілінде су қоймасы мұз қабатымен жабылады, ал жаз айларында су температурасы +22–28°С аралығында болады. Табиғи-ландшафтық тұрғыдан алғанда, аумақ жартылай шөл зонасына жатады. Жағалау маңында бұталы өсімдіктер, ақ сексеуіл, жусан және сортаңды жерлерге тән өсімдіктер таралған. Кейбір учаскелерде шөлейт ландшафт тікелей су жиегіне дейін жетеді. Сонымен қатар тоғайлы және бұталы өсімдіктер кешені де кездеседі.

Су қоймасының ихтиофаунасы алуан түрлі. Мұнда балықтың 26 түрі тіршілік етеді, олардың бір бөлігі кәсіптік аулауға пайдаланылады. Бұл жағдай су қоймасының өңірлік шаруашылықтағы маңызын арттыра түседі. Осылайша, Қапшағай су қоймасы табиғи-климаттық, гидрологиялық және антропогендік факторлардың өзара ықпалы нәтижесінде қалыптасқан күрделі геожүйе болып табылады. Оның кеңістіктік-уақыттық өзгерістерін зерттеу су ресурстарын басқару мен экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз ету тұрғысынан маңызды[3].

Қапшағай су қоймасындағы негізгі мәселелер

Қапшағай су қоймасы қазіргі кезеңде су деңгейінің тұрақсыздығымен сипатталады, бұл оның гидрологиялық режимінің өзгергіштігін көрсетеді. Су деңгейінің ауытқуы су айдыны ауданының өзгеруіне, жағалау сызығының қайта қалыптасуына және су экожүйесінің тұрақтылығының бұзылуына әкеледі. Аталған мәселенің қалыптасуына бірнеше табиғи және антропогендік факторлар әсер етеді.

- Біріншіден, Іле өзенінің ағын көлемінің жылдық және маусымдық өзгерістері су қоймасына келетін судың мөлшерін анықтайды. Қар мен мұздықтардың еру қарқынына, жауын-шашын мөлшеріне және климаттық жағдайларға байланысты өзен ағыны тұрақсыз сипатқа ие.
- Екіншіден, су ресурстарын шаруашылық мақсатта реттеу маңызды рөл атқарады. Қапшағай су қоймасы энергетикалық өндіріс пен суармалы егіншілік үшін пайдаланылатындықтан, суды жинау және жіберу режимі табиғи ағынға тәуелді болмай, басқарылатын сипатқа ие болады. Бұл өз кезегінде су деңгейінің күрт өзгеруіне себеп болады.
- Үшіншіден, климаттың құрғақ континенталды болуы булану процесінің қарқындылығын арттырады. Жаз айларында жоғары температура әсерінен су бетінде булану күшейіп, су көлемінің азаюына ықпал етеді.
- Төртіншіден, трансшекаралық факторлар да әсер етеді, өйткені Іле өзенінің жоғарғы ағысы басқа мемлекет аумағында орналасқан. Өзен ағынының жоғарғы бөлігінде судың пайдаланылуы төменгі ағысқа келетін су мөлшеріне әсерін тигізеді.

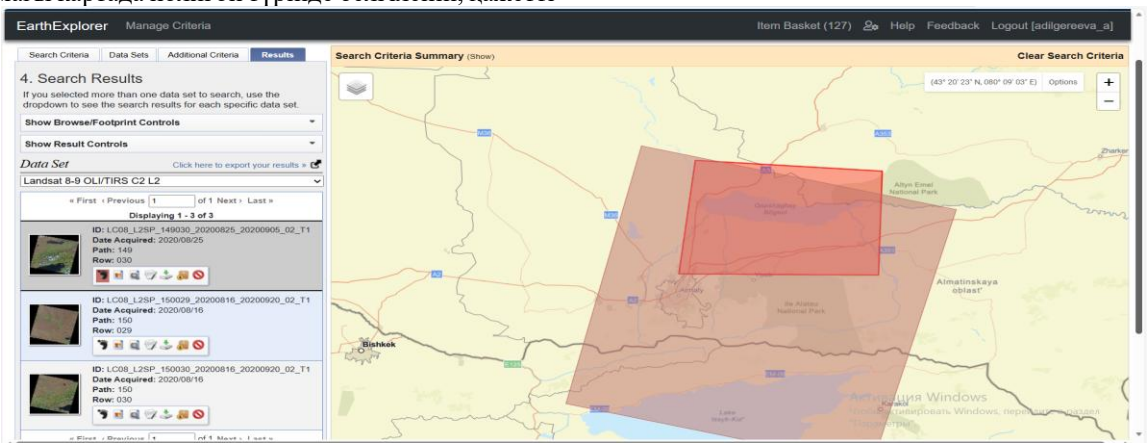
Осы факторлардың жиынтық әсері Қапшағай су қоймасындағы су деңгейінің тұрақсыздығын күшейтіп, оның уақыттық динамикасының өзгермелі сипатын қалыптастырады. Бұл жағдай су айдынының ауданына тікелей әсер етіп, оны геоақпараттық әдістер арқылы тұрақты түрде бақылауды қажет етеді[4].

Ғарыштық суреттерді алу және өңдеу

Зерттеу жұмысын орындау барысында Қапшағай су қоймасы аумағына қатысты спутниктік суреттер АҚШ Геологиялық қызметінің (USGS) EarthExplorer платформасы арқылы алынды. Аталған ресурс қашықтықтан зондтау деректерінің ашық әрі сенімді көзі болып табылады және көпжылдық спутниктік ақпаратты жүктеуге мүмкіндік береді[5].

Ғарыштық суреттерді іріктеу кезінде зерттеу аумағы картада полигон түрінде белгіленіп, қажетті уақыт аралығы таңдалды. Зерттеуде барлық жылдар үшін шілде және тамыз айларына сәйкес келетін деректер пайдаланылды, себебі бұл кезеңде су айдынының шекарасы айқын көрінеді және маусымдық ауытқулардың әсері аз болады. Сонымен қатар, суреттердің сапасын арттыру мақсатында бұлттылық деңгейі (Cloud Cover) 0–20% аралығында шектеліп, мүмкіндігінше бұлтсыз немесе аз бұлтты көріністер таңдалды.

Зерттеу үшін әртүрлі жылдарға сәйкес Landsat сериялы спутниктердің деректері қолданылды. Атап айтқанда, ерте кезеңдер үшін MSS сенсоры (1977 ж.), ал кейінгі жылдар үшін TM, ETM+ және OLI сенсорларымен алынған суреттер (1993–2025 жж.) пайдаланылды. Бұл тәсіл су қоймасының ұзақ мерзімді өзгерістерін бірізді түрде салыстыруға мүмкіндік береді[5](2-сурет).

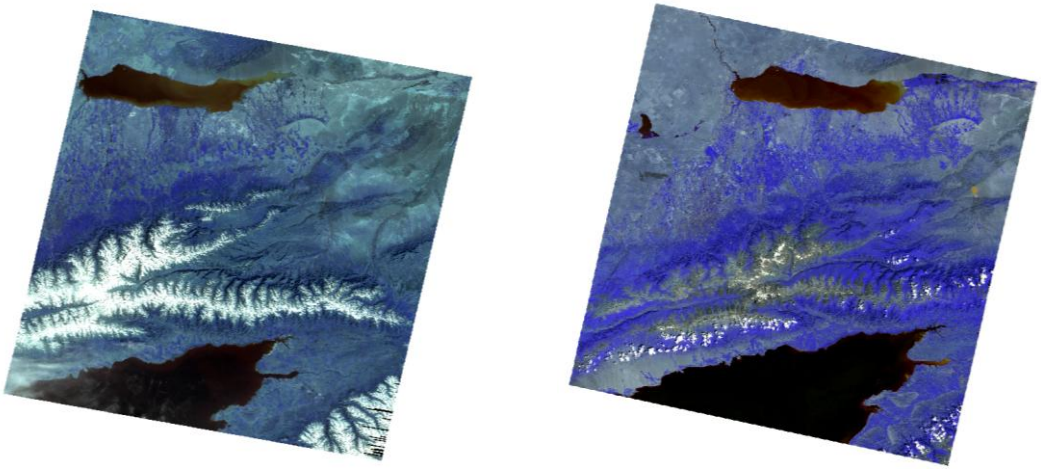


Сурет – 2. Ғарыштық суреттерді алу[5]

Су айдынын анықтау әдісі

Алынған спутниктік суреттерді өңдеу ArcGIS Pro бағдарламалық ортасында жүзеге асырылды. Бағдарлама мүмкіндіктері растрлық деректермен жұмыс істеуге, спектралдық индекстерді есептеуге және геокеңістіктік талдау жүргізуге мүмкіндік береді.

Landsat жүйесінен алынған бастапқы деректер бірканалды сұр растрлар түрінде берілгендіктен, оларды әрі қарай талдау үшін көпарналы кескіндерге түрлендіру қажет болды. Негізгі мақсат — суреттерді визуалды түрде жақсарту, зерттеу аумағын бөліп алу, су айдынын анықтау және кейін векторлық форматқа көшіру. Нәтижесінде бірканалды сұр бейнелердің орнына RGB диапазонында түсті кескіндер алынып, оларды визуалды талдау жеңілдетілді[6](3-сурет).



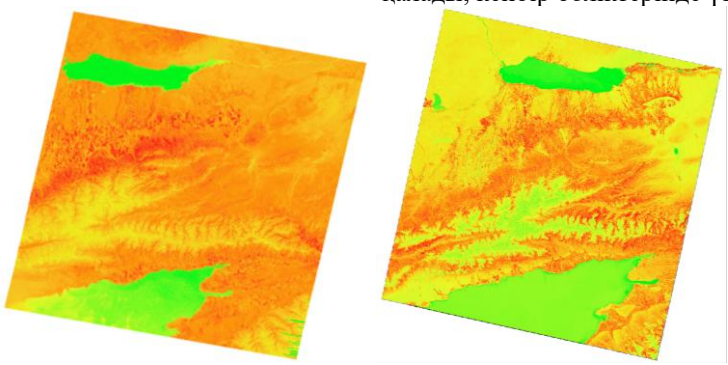
Сурет – 3. RGB диапазонындағы түсті кескіндер[6] (1999 және 2025 жыл)

Су айдынын анықтау мақсатында спектралдық индекс – NDWI (Normalized Difference Water Index) есептелді. Индекс келесі формула бойынша анықталады:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

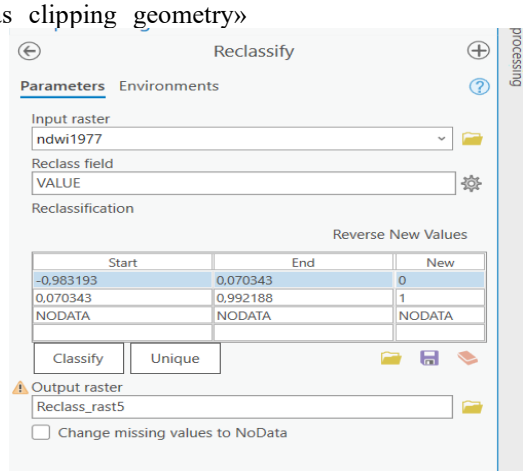
мұндағы, Green – жасыл спектралдық арна, NIR – жақын инфрақызыл арна.

NDWI индексі су бетінің инфрақызыл диапазонда әлсіз шағылыстыру қасиетіне негізделген, сондықтан оның мәндері бойынша су аймақтарын басқа жер жамылғысынан ажыратуға болады. Индекс ArcGIS Pro бағдарламасындағы Raster Calculator құралы арқылы есептелді. NDWI индексінің нәтижелерін салыстыру барысында 1977 және 2025 жылдар арасында айқын айырмашылықтар байқалады (4-сурет). 1977 жылы су айдыны жоғары мәндермен сипатталып, тұтас және кең аумақта көрінеді. Ал 2025 жылғы нәтижелерде NDWI мәндерінің төмендеуі және су айдынының тарылуы байқалады, кейбір бөліктерінде үзіктілік пайда болған.



Сурет – 4. NDWI индексінің нәтижесі[6] (1999 және 2025 жыл)

Зерттеу аумағын нақты шектеу мақсатында растрлық деректерді қию (Clip) операциясы жүргізілді. Бұл үшін алдын ала жаңа кеңістіктік объектілер класы құрылып, Қапшағай су қоймасының шекарасы полигон түрінде цифрланды. Қию барысында «Use input features as clipping geometry» параметрі қолданылып, растр дәл белгіленген шекара бойынша кесілді. Нәтижесінде тек зерттеу нысанына тиесілі аумақ сақталып, артық аймақтар алынып тасталды (6-сурет)



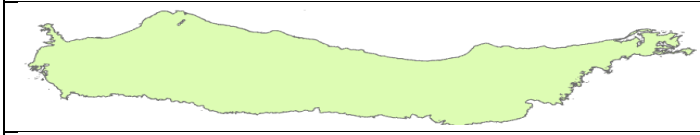
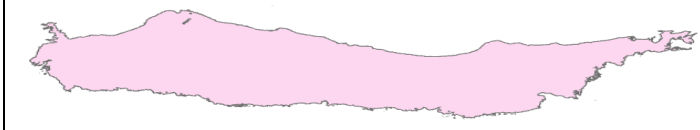
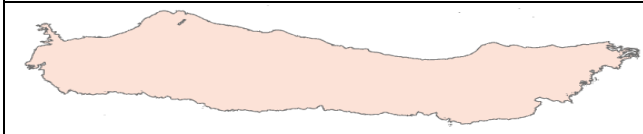
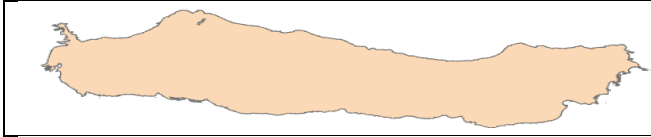
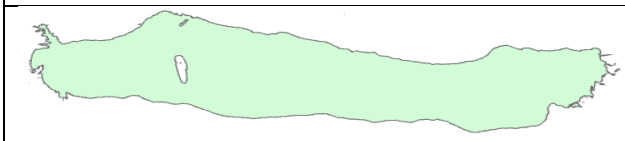
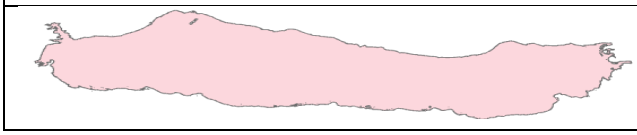
Сурет – 6. Растрлық деректерді қию (Clip) операциясы.

Жүргізілген талдау нәтижесінде Қапшағай су қоймасының су айдынының уақыт бойынша өзгеруі анықталды (1-кесте). 1977–2025 жылдар аралығындағы нәтижелерді салыстыру су айдынының бірқалыпты өзгермейтінін, белгілі бір кезеңдерде ұлғайып, кейін қайта азайып отырғанын көрсетеді.

Ерте кезеңдерде (1977–1999 жж.) су айдынының ұлғаю үрдісі байқалса, кейінгі жылдары (2000 жылдан кейін) салыстырмалы түрде тұрақтану және біртіндеп қысқару үрдісі көрінеді. Әсіресе соңғы жылдардағы (2020–2025 жж.) нәтижелер су айдынының аздап төмендегенін көрсетеді. Жалпы алғанда, су қоймасының динамикасы тұрақсыз сипатқа ие болып, оның ауданы табиғи және антропогендік факторлардың әсерінен уақыт бойынша өзгеріп отырғаны анықталды[6].

Кесте-1.

1977-2025 жылдар аралығындағы Қапшағай су қоймасының көлемінің өзгеруі

	1977 жыл	1115,562
	1993 жыл	1219,535
	1999 жыл	1248,237
	2002 жыл	1258,913
	2007 жыл	1206,278
	2011 жыл	1213
	2015 жыл	1171,033
	2020 жыл	1110,848
	2025 жыл	1176,53

Сонымен қатар, ArcGIS Pro бағдарламасында жасалған жұмыс негізінде су қойманың ауданының уақыт бойынша өзгеру динамикасы анықталды. Кестеде бейнеленгендей 1977–2002 жылдар аралығында су айдынының біртіндеп ұлғаю үрдісі байқалады, бұл кезеңде аудан ең жоғары мән 1258 км²-ге ие болған. Алайда 2002 жылдан кейін су айдынының біртіндеп азаюы байқалады. Әсіресе 2015–2020 жылдар аралығында ауданның төмендеуі айқын көрінеді, ең төмен көрсеткіш 2020 жылы тіркелген (1110 км²). Соңғы жылдарда су айдынының аздап қалпына келу үрдісі байқалады[6].

Жалпы алғанда, су қоймасының ауданы уақыт бойынша тұрақсыз өзгеріп отырғаны және оның динамикасы табиғи-климаттық және антропогендік факторлардың әсеріне тәуелді екені анықталды. Бұл өзгерістер диаграммада айқын көрініс тауып, су айдыны ауданының уақыт бойынша ауытқуын көрсетеді (1-диаграмма).

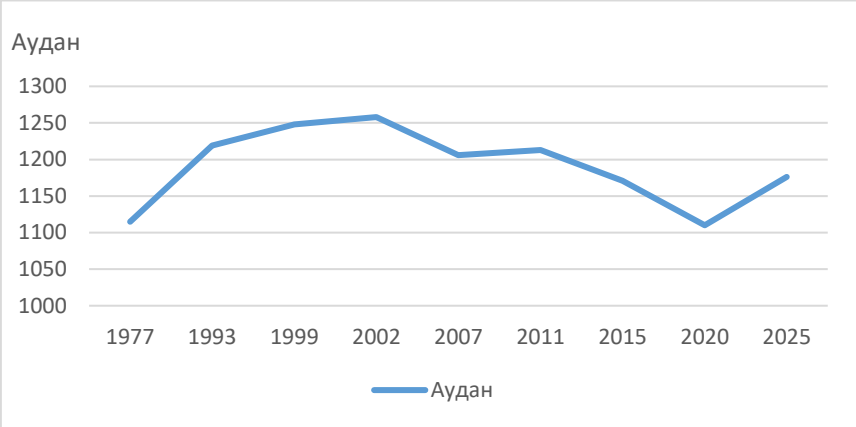


Диаграмма 1 - Қапшағай су қоймасының ауданының көпжылдық динамикасы

Қорытынды

Осы зерттеу жұмысы Қапшағай су қоймасы акваториясының уақыт бойынша өзгеріс динамикасын геокеңістіктік және статистикалық деректер негізінде талдауға бағытталды. Зерттеу барысында Landsat сериялы көпжылдық спутниктік суреттер қолданылып, ArcGIS Pro бағдарламалық ортасында өңделді. Су айдынын анықтау үшін NDWI индексі есептеліп, әр жыл бойынша су айнасының ауданы анықталды.Жүргізілген талдау нәтижесінде су қоймасының ауданы уақыт бойынша тұрақсыз өзгеретіндігі анықталды. Әртүрлі кезеңдерде су айдынының ұлғаюы мен азаюы байқалып, соңғы жылдары салыстырмалы түрде төмендеу үрдісі орын алған. Бұл өзгерістер су деңгейінің ауытқуына және табиғи-климаттық әрі антропогендік факторлардың әсеріне байланысты екендігі көрсетілді.

Алынған нәтижелер су ресурстарын басқару, экологиялық жағдайды бағалау және болашақтағы өзгерістерді болжау үшін қолданылуы мүмкін.Жалпы алғанда, бұл зерттеу су қоймаларының жағдайын ұзақ мерзімді бақылауда заманауи геокеңістіктік әдістерді қолданудың жоғары тиімділігін көрсетті.

Пайдаланған әдебиеттер

1. Қапшағай су қоймасы туралы деректер - https://ru.wikipedia.org/wiki

2. Қазақстан Республикасының Ұлттық гидрометеорологиялық қызметі (Қазгидромет)

3. Қазақстан Республикасы Экология және табиғи ресурстар министрлігі. Су ресурстары бойынша ресми мәліметтер - https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo?lang

4. Э.А. Турсунов. Современные батиграфические характеристики Капшагайского водохранилища // Гидрометеорология и экология, – 2014.

5. EarthExplorer. – https://earthexplorer.usgs.gov/

6. ArcGIS Pro: 2D, 3D және 4D картографиясына арналған ГАЖ бағдарламалық жасақтамасы - https://www.esri-cis.com/ru-ru/arcgis/products/arcgis-pro

ГАЖ ЖӘНЕ ЖЕРДІ ҚАШЫҚТАН ЗОНДТАУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ ЖЕРЛЕРІН ГЕОДЕЗИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГТЕУ

Атабек А.С.
магистрант, Satbayev University, Алматы, Казахстан
Киргизбаева Д.М.
Профессор, PhD, Satbaye University, Алматы, Казахстан

GEODETIC MONITORING OF AGRICULTURAL LANDS USING GIS AND REMOTE SENSING TECHNOLOGIES

Atabek A.
Master's student Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
Kyrgyzbayeva D.
PhD, Professor Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.20152487

Аннотация

Бұл мақалада геоақпараттық жүйелер (ГАЖ) мен Жерді қашықтан зондтау технологияларын қолдану арқылы ауылшаруашылық жерлерін геодезиялық мониторингтеу нәтижелері ұсынылған. Зерттеудің өзектілігі климаттың өзгеруі, топырақтың деградациясы және антропогендік жүктеменің артуы жағдайында жер ресурстарының жай-күйін дәл әрі жедел бағалау қажеттілігімен негізделеді. Дәстүрлі мониторинг әдістері көбінесе жоғары шығындармен және төмен жеделдікпен сипатталады, бұл цифрлық технологияларды қолдануды аса маңызды етеді.

Зерттеу спутниктік деректерді, геодезиялық өлшемдерді және ГАЖ талдауын біріктіруге негізделген. Өсімдік жамылғысының жағдайын, топырақ ылғалдылығын және жердің деградация процестерін бағалау үшін Sentinel-2 спутниктерінен алынған деректер пайдаланылды. Ауылшаруашылық жерлерінің кеңістіктік-уақыттық динамикасын талдау үшін NDVI (өсімдіктердің нормаланған айырмашылық индексі), NDWI (су құрамының нормаланған айырмашылық индексі) және NDSI (тұзданудың нормаланған индексі) есептелді.

Abstract

This article presents the results of geodetic monitoring of agricultural lands using modern geographic information systems (GIS) and remote sensing technologies. The relevance of the study is determined by the need for accurate and timely assessment of land conditions under the influence of climate change, soil degradation, and increasing anthropogenic pressure. Traditional methods of land monitoring are often limited by high costs and low operational efficiency, which makes the use of digital technologies especially important.

The study is based on the integration of satellite data, geodetic measurements, and GIS analysis. Remote sensing data from Sentinel-2 satellites were used to evaluate vegetation condition, soil moisture, and land degradation processes. Spectral indices such as NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDWI (Normalized Difference Water Index), and NDSI (Normalized Difference Salinity Index) were calculated to assess the spatial and temporal dynamics of agricultural lands.

Ключевые слова: геодезиялық мониторинг, ГАЖ, қашықтан зандтау, ауыл шаруашылық жерлері, NDVI, NDWI, NDSI, Sentinel-2.

Keywords: geodetic monitoring, geographic information systems (GIS), remote sensing, agricultural lands, NDVI, NDWI, NDSI, Sentinel-2.

Введение. В современных условиях цифровизации аграрного сектора особую значимость приобретает повышение экономической эффективности управления сельскохозяйственными землями. Рациональное использование земельных ресурсов требует не только достоверной информации об их состоянии, но и минимизации затрат на её получение, обработку и анализ. В условиях роста антропогенной нагрузки и изменения климатических факторов возникает необходимость внедрения технологий, обеспечивающих оперативный и точный контроль за состоянием земель [1].

Традиционные методы управления сельскохозяйственными угодьями, основанные на полевых обследованиях и статистической отчетности, характеризуются высокой трудоёмкостью, значительными финансовыми затратами и ограниченной пространственной репрезентативностью. В отличие от них, современные цифровые технологии, включая геоинформационные системы (ГИС) и дистанционное зондирование Земли, позволяют значительно повысить эффективность анализа и управления земельными ресурсами [2].

Согласно современным исследованиям, применение ГИС в сельском хозяйстве обеспечивает высокую точность обработки пространственных данных (до 85%), а использование дистанционного зондирования позволяет выявлять состояние сельскохозяйственных земель с точностью до 90% и выше [3]. Кроме того, внедрение цифровых технологий способствует снижению трудозатрат до 30–40%, что напрямую влияет на экономическую эффективность управления земельными ресурсами

[4]. Также отмечается, что использование спутниковых данных является экономически более эффективным по сравнению с традиционными методами мониторинга, поскольку позволяет получать информацию о больших территориях без проведения дорогостоящих полевых работ [5].

В качестве объекта исследования выбран Талгарский район, характеризующийся интенсивным сельскохозяйственным использованием земель и разнообразием природно-климатических условий. Данный регион включает равнинные, предгорные и горные территории, что обуславливает неоднородность структуры землепользования и требует применения современных методов пространственного анализа.

Несмотря на активное внедрение цифровых технологий, вопросы экономической эффективности применения ГИС в управлении сельскохозяйственными землями остаются недостаточно изученными на региональном уровне. В частности, отсутствует комплексная оценка влияния ГИС-технологий на снижение затрат, повышение точности анализа и оптимизацию управленческих решений в условиях конкретных территорий [1,2].

Научная новизна исследования заключается в оценке экономической эффективности применения геоинформационных систем для мониторинга и управления сельскохозяйственными землями на примере Талгарского района с использованием данных дистанционного зондирования и пространственного анализа.

Целью исследования является определение экономической эффективности использования геоинформационных систем в управлении сельскохозяйственными землями и обоснование их преимуществ по сравнению с традиционными методами.

Литературный обзор. В последние годы вопросы повышения экономической эффективности управления сельскохозяйственными землями активно рассматриваются в научной литературе в контексте внедрения цифровых технологий, в частности геоинформационных систем (ГИС) и дистанционного зондирования Земли.

Согласно классическим работам в области геоинформатики, ГИС являются эффективным инструментом интеграции, анализа и визуализации пространственных данных, что позволяет существенно повысить качество управления территориальными ресурсами [1]. В работах отмечается, что применение ГИС обеспечивает возможность комплексного анализа больших массивов данных и выявления пространственных закономерностей землепользования.

Исследования показывают, что внедрение геоинформационных технологий позволяет существенно повысить точность анализа сельскохозяйственных земель и сократить временные затраты на обработку информации [2]. В частности, использование ГИС обеспечивает автоматизацию процессов анализа и позволяет минимизировать влияние человеческого фактора.

В современных научных публикациях особое внимание уделяется интеграции ГИС и дистанционного зондирования Земли. Так, по данным ряда исследований, применение спутниковых данных позволяет получать оперативную информацию о состоянии растительного покрова, влажности почв и деградационных процессах, что является важным фактором повышения эффективности управления сельскохозяйственными ресурсами [3].

Кроме того, установлено, что использование цифровых технологий способствует значительному снижению затрат на мониторинг сельскохозяйственных земель. В частности, внедрение дистанционного зондирования позволяет сократить расходы на полевые исследования и обеспечить регулярное обновление данных [4]. Это делает цифровые методы более экономически выгодными по сравнению с традиционными подходами.

В исследованиях международных организаций, включая FAO, отмечается, что применение геоинформационных систем и спутниковых технологий способствует устойчивому развитию сельского хозяйства и повышению эффективности использования земельных ресурсов [5]. Использование данных дистанционного зондирования позволяет оптимизировать процессы планирования и управления сельскохозяйственными территориями.

Несмотря на значительное количество исследований, посвящённых применению ГИС и дистанционного зондирования, вопросы экономической эффективности их использования в управлении сельскохозяйственными землями на региональном уровне остаются недостаточно изученными. В частности, отсутствуют комплексные исследования, учитывающие особенности конкретных территорий, включая природно-климатические условия и структуру землепользования.

Таким образом, проведённый анализ научной литературы показывает, что использование геоинформационных систем и дистанционного зондирования является перспективным направлением повышения эффективности управления сельскохозяйственными землями, однако требует дальнейшего изучения с учётом региональных особенностей.

Результаты.В ходе исследования была проведена оценка экономической эффективности применения геоинформационных систем при управлении сельскохозяйственными землями на примере Талгарский район.

На первом этапе был выполнен сравнительный анализ традиционных и цифровых методов мониторинга земель. Установлено, что традиционные методы, основанные на полевых обследованиях, требуют значительных финансовых затрат, включающих транспортные расходы, оплату труда специалистов и временные издержки. Кроме того, такие методы не обеспечивают полного охвата территории и характеризуются низкой оперативностью получения данных [2].

В отличие от этого, использование геоинформационных систем позволяет автоматизировать

процесс сбора и обработки данных, а также выполнять пространственный анализ на основе спутниковых снимков. Применение ГИС в сочетании с данными дистанционного зондирования обеспечивает возможность мониторинга больших территорий без необходимости проведения постоянных полевых работ [3].

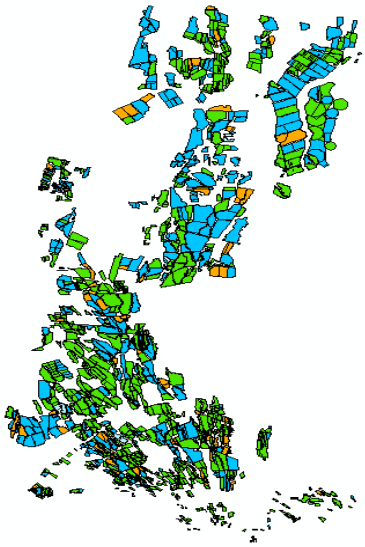


Рисунок 1 – Пример пространственного анализа сельскохозяйственных земель в ГИС Талгарского района

Результаты анализа показали, что применение ГИС позволяет:

- сократить затраты на мониторинг на **30–70%** по сравнению с традиционными методами;
- снизить трудозатраты специалистов за счёт автоматизации обработки данных;
- ускорить получение информации в несколько раз;
- повысить точность анализа за счёт использования пространственных данных.

Дополнительно было установлено, что использование спутниковых данных позволяет выявлять деградированные и неиспользуемые участки, а также зоны с различной степенью развития растительности. Это способствует более эффективному принятию управленческих решений и оптимизации использования сельскохозяйственных земель [4***]***.

Для количественной оценки эффективности применения геоинформационных систем в управлении сельскохозяйственными землями был проведён расчет экономической эффективности на основе сравнительного анализа затрат традиционных и цифровых методов мониторинга.

Экономическая эффективность определяется по формуле:

$$E = \frac{C_{trad} - C_{gis}}{C_{trad}} \times 100\%$$

где:

C_{trad} — затраты при использовании традиционных методов анализа;

C_{gis} — затраты при применении геоинформационных систем.

В рамках исследования были использованы следующие исходные данные:

- стоимость традиционного лабораторного анализа — 50 000 тенге;
- стоимость анализа с использованием данных дистанционного зондирования (высокое качество) — 15 500 тенге.

На основании приведённых данных рассчитана экономическая эффективность:

$$E = \frac{50000 - 15500}{50000} \times 100\% = 69\%$$

Таким образом, применение геоинформационных систем позволяет снизить затраты на мониторинг сельскохозяйственных земель на **69%**, что свидетельствует о высокой экономической целесообразности внедрения цифровых технологий.

Таблица 1 –
Сравнение стоимости методов анализа

Метод анализа	Стоимость, тенге
Агромарт лаборатория	50 000
ДЗЗ (среднее качество)	25 000
ДЗЗ (высокое качество)	15 500

Рисунок 2 – Сравнение затрат традиционных и цифровых методов мониторинга

Анализ результатов показал, что внедрение ГИС-технологий обеспечивает не только снижение затрат, но и повышение качества управления земельными ресурсами. За счёт визуализации данных в виде карт и моделей значительно упрощается процесс анализа и принятия решений.

Таким образом, применение геоинформационных систем является экономически обоснованным и эффективным инструментом управления сельскохозяйственными землями, обеспечивающим снижение затрат и повышение эффективности мониторинга.

В результате проведённого исследования установлено, что применение геоинформационных систем является эффективным инструментом повышения экономической эффективности управления сельскохозяйственными землями.

На примере Талгарский район показано, что традиционные методы мониторинга, основанные на полевых обследованиях, характеризуются значительными финансовыми и временными затратами, а также ограниченной возможностью анализа больших территорий. В то же время использование ГИС-технологий позволяет существенно повысить оперативность и точность получения информации о состоянии земельных ресурсов.

Результаты исследования подтвердили, что внедрение геоинформационных систем обеспечивает снижение затрат на мониторинг сельскохозяйственных земель в среднем на **30–70%**, а также сокращение трудозатрат за счёт автоматизации обработки данных. Дополнительно установлено, что применение пространственного анализа позволяет выявлять деградированные и неиспользуемые участки, что способствует более рациональному использованию земельных ресурсов.

Интеграция ГИС с данными дистанционного зондирования обеспечивает комплексный подход к анализу сельскохозяйственных территорий, включая оценку состояния растительного покрова, влажности почв и процессов деградации. Это значительно повышает качество принимаемых управленческих решений и способствует оптимизации землепользования.

Таким образом, использование геоинформационных систем является экономически обоснованным и перспективным направлением развития системы управления сельскохозяйственными землями. Внедрение цифровых технологий способствует повышению эффективности аграрного сектора, снижению затрат и переходу к более устойчивым формам землепользования.

В дальнейшем развитие данного направления должно быть связано с расширением применения автоматизированных систем мониторинга, использованием высокоточных спутниковых данных и интеграцией ГИС с цифровыми платформами управления территорией.

Выводы. В результате проведённого исследования установлено, что применение геоинформационных систем является эффективным инструментом повышения экономической эффективности управления сельскохозяйственными землями.

На примере Талгарский район показано, что традиционные методы мониторинга, основанные на полевых обследованиях, характеризуются значительными финансовыми и временными затратами, а также ограниченной возможностью анализа больших территорий. В то же время использование ГИС-технологий обеспечивает оперативное получение данных, автоматизацию обработки информации и проведение комплексного пространственного анализа.

Результаты исследования подтвердили, что внедрение геоинформационных систем позволяет снизить затраты на мониторинг сельскохозяйственных земель в среднем на **30–70%**, а также сократить трудозатраты специалистов. При этом экономия затрат может достигать **34 500 тенге на один анализ**, что соответствует снижению расходов на **69%** по сравнению с традиционными методами.

Интеграция геоинформационных систем с современными цифровыми технологиями обеспечивает комплексный подход к мониторингу сельскохозяйственных территорий, включая анализ состояния растительного покрова, влажности почв и процессов деградации. Это позволяет не только повысить точность анализа, но и оптимизировать процессы управления земельными ресурсами.

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения полученных результатов органами управления сельским хозяйством и землепользования для снижения затрат на мониторинг и повышения эффективности использования земельных ресурсов.

Таким образом, внедрение геоинформационных систем является ключевым направлением цифровой трансформации сельского хозяйства и обеспечивает переход к более эффективному, экономически обоснованному и устойчивому управлению сельскохозяйственными землями.

Список литературы

1. Geographic Information Systems and Science, Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W. *Geographic Information Systems and Science.* – 4th ed. – Wiley, 2015.

2. Remote Sensing and Image Interpretation, Lillesand T.M., Kiefer R.W., Chipman J.W. *Remote Sensing and Image Interpretation.* – 7th ed. – Wiley, 2015.

3. Agricultural remote sensing big data, Huang Y., Chen Z., Yu T., Huang X., Gu X. Agricultural remote sensing big data: Management and applications. *Journal of Integrative Agriculture*, 2018, Vol. 17(9), pp. 1915–1931.

4. Remote sensing for precision agriculture, Segarra J., Buchaillot M.L., Araus J.L., Kefauver S.C. Remote sensing for precision agriculture. *Agronomy*, 2020, Vol. 10(3).

5. Food and Agriculture OrganizatiFAO., The use of remote sensing for agriculture monitoring and food security. Rome, 2017.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ NDVI ДЛЯ МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ АЛМАТИНСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА 2020-2023 ГОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Баракбаева А.
магистрант, Satbaye University, Алматы, Казахстан
Солтабаева С.Т.
профессор, т. г.к, Satbayev University, Алматы, Казахстан

GIS-BASED COMPARATIVE ANALYSIS OF NDVI FOR AGRICULTURAL LAND MONITORING IN THE ALMATY REGION FOR 2020 – 2023

Barakbayeva A.
Master's Student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
Soltabayeva S.
Professor, Candidate of Technical Sciences, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.20152551

Аннотация

В статье представлен сравнительный анализ индекса NDVI по данным Landsat за 2020 и 2023 годы для сельскохозяйственных территорий Алматинской области. С использованием каналов B4 (RED) и B5 (NIR) в среде ArcGIS Pro выполнен расчёт NDVI и построены тематические карты. Результаты показывают увеличение среднего NDVI в 2023 году и улучшение состояния растительности.

Abstract

This article presents a comparative analysis of NDVI values for 2020 and 2023 based on Landsat remote sensing data for agricultural lands in the Almaty region. Using red (B4) and near-infrared (B5) bands in ArcGIS Pro, NDVI maps were generated to assess vegetation dynamics. The results indicate a moderate increase in NDVI in 2023, reflecting an improvement in vegetation conditions.

Ключевые слова: NDVI, ArcGIS Pro, Landsat, мониторинг угодий, растительность.

Keywords: NDVI, ArcGIS Pro, Landsat, vegetation monitoring.

Введение

Мониторинг сельскохозяйственных угодий является важным инструментом для оценки состояния земель, планирования агротехнических мероприятий и своевременного выявления деградационных процессов. Индекс NDVI широко используется в качестве базового индикатора растительности, поскольку он позволяет количественно определить плотность зелёной массы и её изменения во времени. Особенно актуально применение NDVI для Алматинской области, где природные и климатические условия существенно различаются в пределах региона, а продуктивность земель зависит от водообеспечения, температуры и хозяйственного использования.

Целью настоящей работы является проведение сравнительного анализа NDVI за 2020 и 2023 годы на основе спутниковых снимков Landsat с использованием ГИС-платформы ArcGIS Pro. Такое сравнение позволяет оценить динамику состояния растительности и выявить общие тенденции развития сельскохозяйственных угодий региона.

Материалы и методы. Исходными данными служили спутниковые изображения **Landsat 8** за 2020 год и **Landsat 9** за 2023 год. Оба снимка относятся к одной и той же сцене (Path/Row 149/030), что обеспечивает сопоставимость пространственного положения объектов. Для анализа были выбраны два спектральных канала — **B4 (RED)** и **B5 (NIR)**, которые являются обязательными для расчёта индекса NDVI.

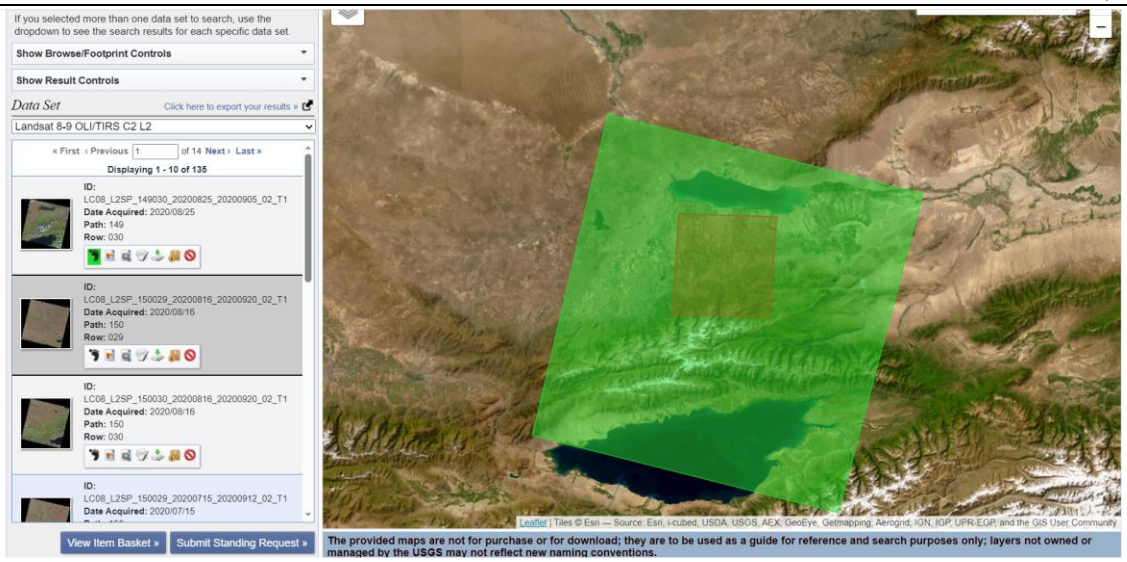


Рисунок 1 – Область покрытия спутниковой сцены Landsat (Path/Row 149/030) в пределах Алматинской области

Перед обработкой данные прошли стандартные этапы подготовки: проверка облачности, корректность метаданных, единая система координат. Далее каналы были загружены в ArcGIS Pro, где через инструмент Raster Calculator выполнен расчёт NDVI по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

Полученные растровые слои NDVI были визуализированы с помощью градации значений и проанализированы статистически. Основное внимание уделялось среднему значению, так как оно позволяет оценить общее состояние растительности на крупном территориальном уровне.

а *б*

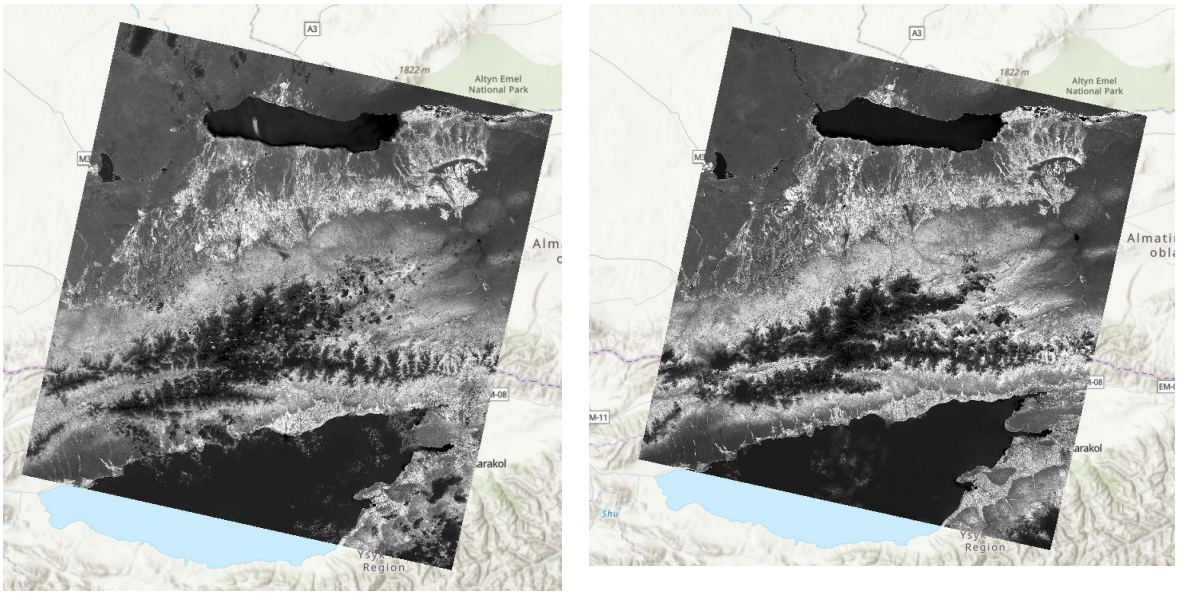


Рисунок 2 – NDVI-карта за 2020 год (а) и NDVI-карта за 2023 год Алматинской области, рассчитанная на основе снимка Landsat 9 за 2023 год

а *б*

Результаты

Результаты расчётов показали, что средние значения NDVI для Алматинской области составили: 2020 год — 0.1289 и за 2023 год — 0.1473

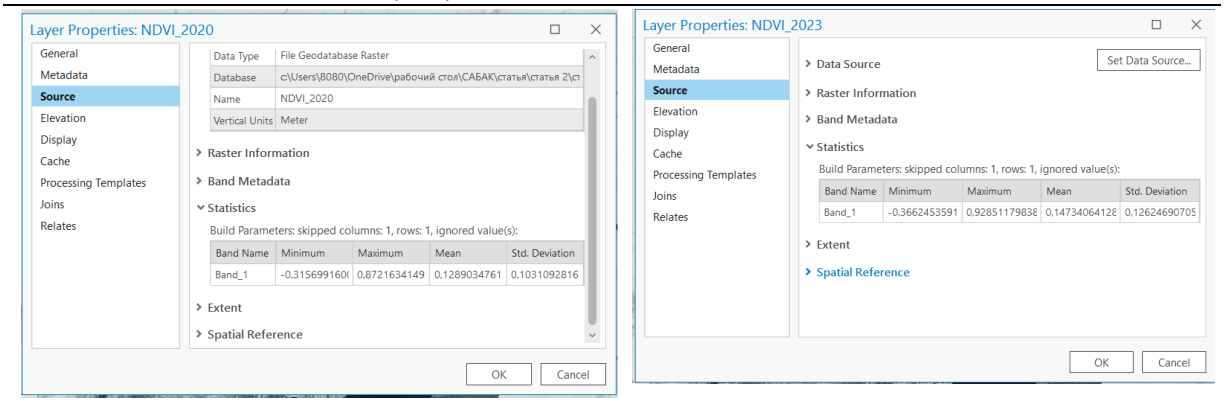


Рисунок 3 – Статистические показатели NDVI по данным Landsat 8 за 2020 год (а) и показатели NDVI по данным Landsat 9 за 2023 (б) год (минимум, максимум, среднее и стандартное отклонение)

Даже небольшое увеличение NDVI является значимым для такого масштабного региона, поскольку показатель интегрирует разнообразные природные и хозяйственные факторы. Карты NDVI демонстрируют, что в 2020 году преобладали участки с низким уровнем вегетации, что может быть связано с засушливыми периодами и неоднородным водоснабжением. В 2023 году распределение NDVI более равномерное, увеличена доля территорий со средним уровнем растительности. Особенно заметное улучшение наблюдается в зонах орошаемого земледелия и на участках с достаточной влагообеспеченностью. При этом в отдельных северо-восточных районах сохраняются зоны пониженного NDVI, что указывает на необходимость дальнейшего мониторинга.

Обсуждение. Методика расчёта NDVI в ArcGIS Pro показала свою эффективность: платформа позволяет не только выполнять расчёты индексов, но и проводить пространственный анализ, сопоставлять данные за разные годы, выполнять статистический обзор и визуализировать изменения в удобном картографическом виде.

Выводы. Проведённый анализ NDVI за 2020 и 2023 годы позволил выявить умеренное улучшение состояния растительности в Алматинской области. На основе данных Landsat и их обработки в ArcGIS Pro установлено повышение среднего значения NDVI в 2023 году, что отражает более благоприятные природные условия и повышение плотности зелёной массы. Полученные результаты подтверждают эффективность использования ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования для регулярной оценки сельскохозяйственных угодий. Такой подход позволяет отслеживать динамику растительности, своевременно выявлять зоны с пониженными показателями и формировать обоснованные решения для управления земельными ресурсами.

Список литературы

1. Рыспеков К.Б., Солтабаева С.Т. Основы геоинформационных систем (Геоақпараттық жүйе негіздері). – Алматы: Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті, 2008.

2. Нурпейисова Т.Б., Солтабаева С.Т. Создание цифровых топографических карт местности (Жергілікті жердің сандық топографиялық карталарын құру). – Алматы: КазГЮТ, 2009. – 188 с. ISBN 978-601-228-067-8.

3. Солтабаева С.Т. Автоматизация топографо-геодезических работ (Топографиялық–геодезиялық жұмыстарды автоматтандыру). – Алматы: Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті, 2010.

4. Жолдасбаев Б.Б. Дистанционное зондирование земельных ресурсов. – Алматы: Экография, 2020.

СЕМЕЙ СЫНАҚ ПОЛИГОНЫНА ЛАЙЫҚТАП ГАЖ ҚҰРУ

Бегалиева М.
докторант, Satbaye University, Алматы, Казахтан
Солтабаева С.Т.
профессор, канд.техн.наук, Satbayev University, Алматы, Казахтан

DEVELOPMENT OF A GIS FOR THE SEMEY TEST SITE

Begalieva M.
Doctoral Student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
Soltabayeva S.
Professor, Candidate of Technical Sciences, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.20152588

Аннотация

Мақалада Семей сынақ полигонын шаруашылық айналымға беру үшін жүргізіліп жатқан зерттеулоердің нәтижесі және полигон аумағының экологиялық капртасын жасауға қажет геоақпараттық жүйе құру қаратырылған. Жұмыстың ғылыми жаңалығы –жер бетінің деформациялық күйін тиімді бақылауға және ластану деңгейіне байланысты кадастрлық бағалауға мүмкіндік беретін геодинамикалық полигон құру әдістемесі ұсынылғандығы. Практикалық маңыздылығы **.** СЯП аумағын бағалау үшін ұсынылған геодинамикалық полигон құру әдістемесі магистранттар мен докторанттардың диссертациялық жұмыстарында, сондай-ақ Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университетінің (ҚазҰЗТУ) оқу үдерісінде қолданылып отырғандығында.

Abstract

The article presents the results of studies conducted to integrate the Semey Test Site into economic use, as well as considers the development of a geographic information system (GIS) necessary for creating an ecological map of the test site territory. The scientific novelty of the work lies in the proposed methodology for establishing a geodynamic test site, which enables effective monitoring of the deformation state of the Earth's surface and cadastral assessment depending on the level of contamination. The practical significance is that the proposed methodology for creating a geodynamic test site to assess the territory of the Semey Nuclear Test Site is being applied in the dissertation research of master's and doctoral students, as well as in the educational process of the Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev (KazNRTU).

Түйін сөздер: Семей ядролық полигоны, радиациялық ластану, «Қаражыра» көмір кен орны, жер учаскелернің шекаралары, жарамды жерлерді игеру.

Keywords: Semey Nuclear Test Site, radiation contamination, Karazhyra coal deposit, land parcel boundaries, development of suitable lands.

Введение

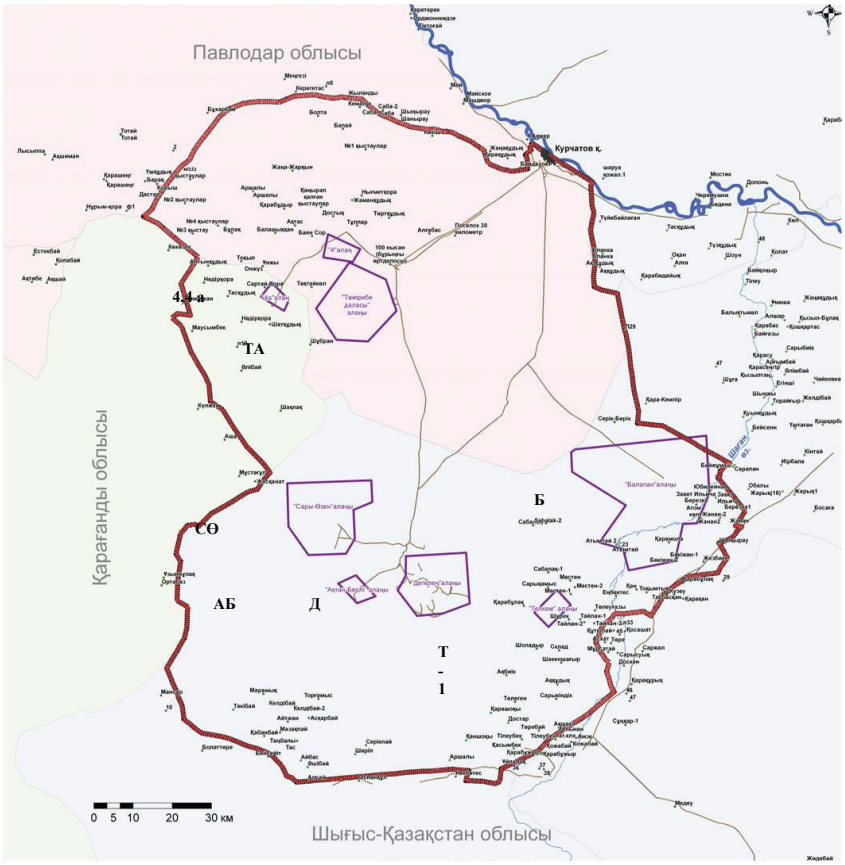
Бүгінде Қазақстанда кешенді полигондар жүйесі құрылып, онда аймақтық ерекшеліктерін ескере отырып экологиялық мониторингтаумен Республиканың барлық аумағы қамтылуда. Бірінші кезекте Арал, Каспий , Семей ядролық экологиялық апат аумағында жұмыс жүргізілуі қажет. Бұдан 40 жылдан астам уақыт 500-ден астам жерасты және жер бетінде әртүрлі жарылыстар болғаны баршаға мәлім. Ол жерде кәзір «Сынақ алаңы», «Балапан» және «Дегелен» сынақ-тәжірибе алаңдары, «Атом» көлі сияқты ескерткіштер бар.

Міне осындай аймақта Жердің жасанды серіктерінің деректерін пайдалана отырып ғарыштық мониторингтау және оның нәтижесінде экологиялық карталарды жасау бүгінгі күннің өзекті мәселесі болып отыр, әлбетте бұл, Семей ядролық полигоны территориясын ғарыштық мониторингтаудың бірыңғай геоақпараттық жүйесін (ГАЖ) құруды талап етеді. Аталмыш ГАЖ бұрынғы деректерді сақтай отыра, оған еркін кіру мен модельдеуді қамтамсыз етеді [1].

Сондықтан, магистрлік жұмыста Семей сынақ полигонын ғарыштық мониторингтаудың геоақпараттық жүйесі негізінде сол аймақтың экологиялық карталарды жасау қазіргі кездегі өзекті мәселе болып табылады. Жұмысты жүзеге асыруда Жердің жасанды серіктерінің деректері пайдаланылды және де зерделеудің кешендік жағдайы жалпығылымдық және мамандандырылған (геоинформатикалық, геодезиялық, картографиялық, геоэкологиялық) әдістерді қолдануды талап етеді.

Жалпы ауданы 30 кв.км болатын «Тәжірибе даласының» дәл орта тұсында биіктігі 30 м, ядролық заряд орналастырылған темір мұнара орнатылған. Ядролық жарылыстың әсер ету факторын анықтау үшін даланы14 бөлікке бөліп, әр бөлікке әртүрлі ара қашықтықта, бірінен кейін бірі өлшеу жабдықтары, әртүрлі азаматтық және әскери нысандар, сонымен қатар жануарлар тобы – «бионүктелер» орналастырылған (1-сурет).**п**1965 жылы ССП-та қуаттылығы 140 килотонна жарылыс жасалды. Осының салдарынан тереңдігі 100 метрден асатын, диаметрі 400 метрлік «Атом көлі» пайда болды. Соңғы сынақтардан бері 20 жылдан астам уақыт өткеніне қарамастан, Семей ядролық полигонының белдемі күні бүгінге дейін экологиялық кауіпті аудан болып есептеледі. Өйткені онда ұзақ сақталатын радиоактивті заттар жинақталған. Полигон аймағында күні бүгінге дейін топырақ және

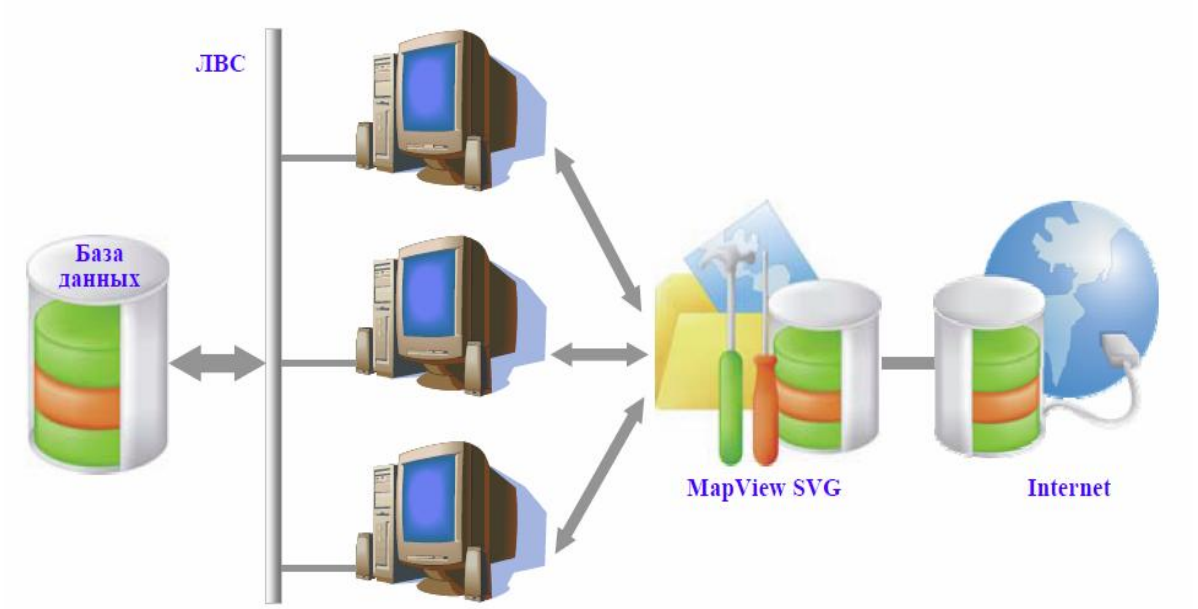
өсімдіктер ластанған, 1,7 млн адам мекендейтін 304 мың км^2 жер (Семей, Павлодар, Қарағанды облыс аумақтары) шөлейттенген, адамдар денсаулығына орасан зиянын келген (1- -сурет) [2].



Сурет 1. Семей сынақ полигонының картасы

Содан бері 20 жыл өтті десекте, Семей полигонының жері әлі де байырғы табиғи қалпына келген жоқ. Экологтардың 2011 жылғы мәліметтеріне жүгінсек, полигон құрамына жататын жердің 95 пайызы ауыл шаруашылығына беру туралы жобаға (ҚР ҰЯО даярлаған) қарсы екендіктерін мәлімдейді. Себебі, жоба даярлаушылар радиоактивті нуклидтер (цезий, стронций, тритий және плутоний) мөлшері азайды деген пікірде. Солардың ішіндегі ең қауіптісі және ұзақ жылдар бойы сақталатыны – «плутоний» элементі екендігі баршаға мәлім. Мәселен, «плутоний-240», толық ыдырап кетуі үшін 6500 жыл қажет, ал ол ыдыраған кезде жаңадан альфа-сәуле пайда болатындығын Курчатовтағылар елемей отыр.

Бүгінде NOAA (АҚШ) және Ресурс-О1 (РФ) жасанды серіктерінің деректерін пайдалана отыра Семей полигоны территориясын ғарыштық мониторингтау мен жылдам карталар жасауды қамтамасыз ететін заманауи аппараттары және бағдарламалары баршылық. Семей ядролық полигоны аймағында экологиялық зерттеулерді Қазақстан Үкіметі АҚШ және Ресей үкіметтерімен бірігіп жүргізеді. Ғарыштық мониторингтен алынған деректер бойынша осы аймақтың экологиялық карталарын жасау геоақпараттық жүйеге негізделінеді. Ғарыштық млониторингтің ақпараттық жүйесі жергілікті торапқа топталған жеке кампьютерлерден және серверде орналасқан деректер базасынан (ДБ) тұрады. Қазақстан Республикасының ұлттық ядерлік Орталығының жылдамдығы жоғары сервері мен жергілікті есептеу жүйесі (ЖЕЖ) мәліметтерді жылдам алуға және олармен бірнеше рет жұмыс істепуге мүмкіндік туғызады (2-сурет) [3].



Сурет 2 – «Семей» ғарыштық бағдарламасының геоақпараттық жүйесі (ГАЖ)

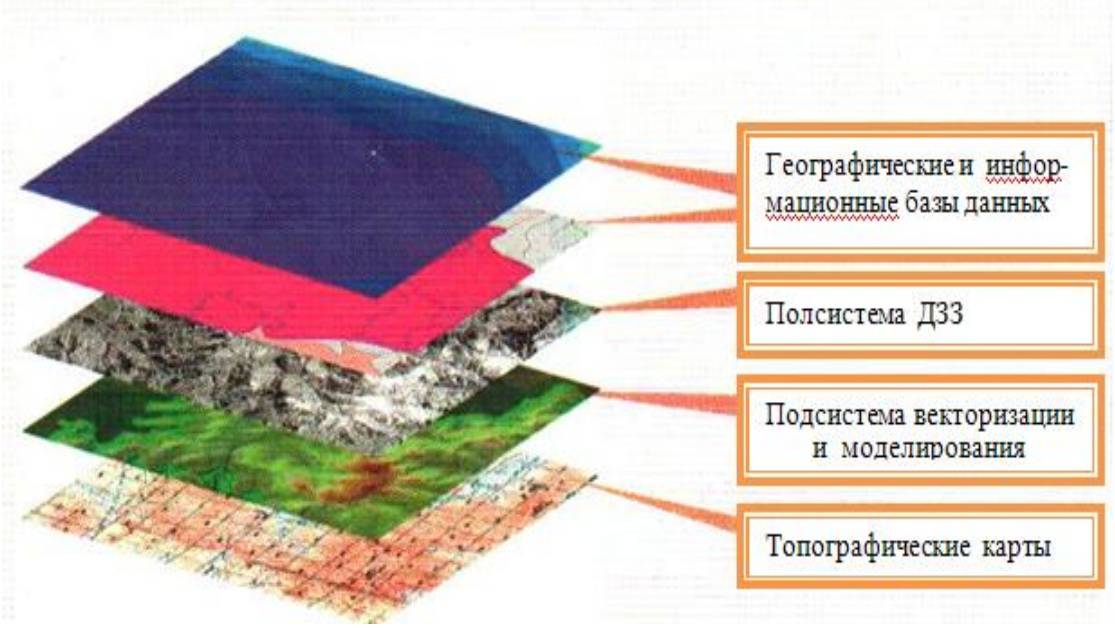
Аталмыш ГАЖ бұрынғы деректерді сақтай отыра, оған еркін кіру мен модельдеуді қамтамсыз етеді және де зерттелетін аумақтың географиялық мәліметтері мен ғарыштық суреттерін бір-бірімен қабыстырады. Бұрынғы СИЯП аумағын зерттеуге көптеген ғылыми зерттеулер арналып келді. Дегенмен, оларды біртұтас ақпараттық базаға біріктіру жүзеге аспаған, бұл ғылыми зерттеулерден практикалық міндеттерді шешуге өтуге мүмкіндік бермеген.

Осы жағдайда ең тиімді әдіс – геоақпараттық жүйе (ГАЖ) құру болып табылады.

Ол зерттеулер Қазақстан полигондары территориясын ғарыштық мониторингтаудың бірыңғай ақпараттық жүйесін құрып, зерттеу жұмыстарынан адамзат тіршілігіне қажетті практикалық мәселелерді шешуге негізделген. Семей сынақ полигоны территориясын экологиялық тұрғыдан зерттеу ғарыштық «Семей» және «Жер» бағдарламалары аясында жүргізілді. Полигон аумағын қашықтан зондтауда АҚШ-тың NOAA, EOS AM (Terra) және Ресейдің «Ресурс-01» жасанды серіктерінен алынған деректер қолданылды.. Сонымен қатар, шешімділігі жоғары SPOT, Landsat және МСР-Э («Ресурс-01») мәліметтері пайдаланылды. «Семей» геоақпараттық жүйесінің қайқұрамында қай елдің ЖЖС-нің деректері пайдаланылғандығын 3-суреттен байқауға болады [4].

Сурет 3 - ССП геоақпараттық жүйесі

Осы жағдайда ең тиімді әдіс – геоақпараттық жүйе (ГАЖ) құру, ол қолда бар деректерді сақтауға, оларға оңай қол жеткізуге ғана емес, сонымен қатар модельдеуді жүргізуге мүмкіндік береді, оның нәтижелерін зерттеліп отырған өңірдің географиялық және ғарыштық түсірілімдерімен біріктіруге болады. СИЯП ГАЖ-ның барлық құрамдас бөліктері 4-суретте көрсетілгендей бір-бірімен байланысты [5].



4-сурет - ССП геоақпараттық жүйесі

Семей сынақ полигонының геоақпараттық жүйесі (ГАЖ) мына құрамдас бөліктерді қамтиды:

- географиялық және ақпараттық деректер базасы;
- қашықтықтан зондтау (дистанциялық зондтау) подсистемасы;
- модельдеу подсистемасы;
- нәтижелерді визуализациялау подсистемасы.

Подсистемаларды біртұтас ГАЖ-қа біріктіретін негізгі құрал – Arclnfo бағдарламалық пакеті. Бұл географиялық ақпараттық жүйелерді құру үшін ең қуатты құралдардың бірі болып табылады.

Картографиялық деректер қашықтықтан зондтау подсистемасына «қосылады», яғни ғарыштық түсірілімдерді географиялық түрде байыту процесіне қатысады. Өз кезегінде, ғарыштық түсірілімдер географиялық ақпараттық деректер базасының ақпарат көзі болып табылады. Географиялық деректер мен қашықтықтан зондтау деректері «Модельдеу» подсистемасының кіріс деректері ретінде пайдаланылады [6- 7].

Өткізілген зерттеулер материалдарын талдау нәтижесінде «Балапан Өткізілген зерттеулер материалдарын талдау нәтижесінде «Балапан» алаңы аумағы экожүйесінің компоненттерінің қазіргі жағдайы туралы ақпарат алынды. Радиоактивтік ластанудың, техногендік радионуклидтер арқылы, топырақ, дондық шөгінділерде «Атом көлі» шұңқырлары мен «Балапан» учаскесіне шоғырланғаны анықталды. Жер асты тоннельдер мен ұңғымаларда жүргізілген сынақтар барысында ұзақ өмір сүретін радиоактивтік өнімдер қоры бар екені айқын. Мұндай аумақтар шаруашылық игеруге жарамсыз болғандықтан, оларды ұзақ уақыт бойы қадағалау қажет және адамдардың кіруіне тыйым салынуы керек.

Қорытындысы. Қазақстан территориясын мониторингтаудың көптеген геоақпараттық жүйелері («Бидай», «Ақ жайық», «Арал», «Каспий», «Семей» және т .б.) бар және оларды тталдай отыра келесідей қортындыға келдік. Қолданыстағы Семей» мониторингтаудың жүйесі жетілдірілді. Атқарылған жұмыста Семей сынақ полигонын ғарыштық мониторингтауға лайықты ГАЖ-дың жетілдірілген жүйесі құрылды және оның негізінде сол аймақтың экологиялық карталарды жасау қолға алынды. Жұмысты жүзеге асыруда Жердің жасанды серіктерінің деректері пайдаланылды және де зерделеудің кешендік жағдайы жалпығылымдық және мамандандырылған (геоинформатикалық, геодезиялық, картографиялық, геоэкологиялық) әдістер қолданылды.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Нұрпейісова М.Б. Ғарыштық геодезия..- Алматы: Дәуір, 2012.

2. Аубакиров Т.О.,Мусабаев Т.А.,Сулиангазин У.М. Основные результаты казахстанской программы научных исследований и экспериментов на борту ОС «Мир» и МКС. Алматы, 2001.

3. Космические исследования в Казахстане.- Алматы: РОНД6 2002.

4. Экологическое картографирование. *Стурман В.И.* М.: Аспект Пресс, 2003.

5. Нурпеисова М.Б., Шунбаева Ж. Проектирование ГИС и проведение космического мониторинга территории Семипалатинского испытатальногъ полигона. Труды междун. Конф. «Проблемы освоения недр в XX1-веке глазами молодых».- М.: ИПКОН РАН, 2012.- С.82-87

6. Ковалев В.В. Исследование особенностей вторичного загрязнения природной среды СИП. Дисс..канд.техн.наук.-Алматы, 2010. -20 с.

7. Нурпеисова М.Б., Шунбаева Ж. Семей сынақ полигоны территориясының экологиялық картасын жасаудың нәтижесі. Қарағанды: Маркшейдерия және геодезия., 2013, №1.

СОЗДАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ СЪЁМОК ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ В СИСТЕМЕ ГОСГРАДКАДАСТРА НА ОСНОВЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Дуйсенбаева А.Ж.
магистрант, Satbayev University, Алматы, Казахстан
Мейрамбек Г.
профессор, к.т.н., Satbaye University, Алматы, Казахстан

CREATION AND PREPARATION OF AS-BUILT SURVEYS FOR REGISTRATION IN THE STATE URBAN CADASTRE SYSTEM BASED ON GIS TECHNOLOGIES

Duisenbayeva A.
Master's Student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
Meirambek G.
Professor, Candidate of Technical Sciences, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.20152608

Аннотация

В статье рассматриваются современные подходы к созданию и оформлению исполнительных съемок объектов капитального строительства и инженерных коммуникаций с использованием геоинформационных систем (ГИС) и спутниковых геодезических систем (GPS/GNSS). Особое внимание уделяется практическим аспектам выполнения топографических съемок с применением высокоточных GPS-приемников, последующей камеральной обработке данных в среде САПР (на примере AutoCAD), выносу проектных координат для точного позиционирования коммуникаций, а также отрисовке каждой коммуникации на отдельных слоях.

Abstract

The article examines modern approaches to the preparation and documentation of as-built surveys for capital construction projects and engineering utilities using geographic information systems (GIS) and satellite geodetic systems (GPS/GNSS). Particular attention is given to the practical aspects of conducting topographic surveys with high-precision GPS receivers, subsequent data processing in a CAD environment (using AutoCAD as an example), setting out design coordinates for accurate positioning of utilities, and drafting each utility on separate layers.

Ключевые слова: исполнительная съёмка, инженерные коммуникации, Госградкадастр, АИС ГГК, GPS/GNSS, AutoCAD, ArcGIS, DWG, DXF, геобаза данных.

Keywords: as-built survey, engineering utilities, State Urban Cadastre, AIS GGC, GPS/GNSS, AutoCAD, ArcGIS, DWG, DXF, geodatabase.

Введение. Государственный градостроительный кадастр Республики Казахстан ведётся как единая система сбора, обработки, учёта, регистрации, хранения и предоставления сведений по объектам архитектурной, градостроительной и строительной деятельности. В новой редакции отраслевого регулирования эта логика закреплена и в Строительном кодексе Республики Казахстан от 9 января 2026 года № 253-VIII, который вводится в действие с 1 июля 2026 года. Кодекс прямо указывает, что источниками исходной информации для учёта и актуализации ГГК выступают, в том числе, заказчики, представляющие проектную документацию, топографические и исполнительные геодезические съёмки, а формат и структура представления данных в автоматизированную цифровую систему ГГК устанавливаются специальным нормативным документом по ведению градкадастра [1-3].

Практическая сторона вопроса подтверждается и действующим сервисом РГП «Госградкадастр»: для внесения исполнительной геодезической схемы инженерных коммуникаций в базу данных АИС ГГК предусмотрена подача как сканированного варианта контрольно-исполнительной съёмки, так и её электронного варианта. Это означает, что электронная исполнительная съёмка уже рассматривается не как вспомогательный файл, а как полноценный источник пространственных данных для кадастровой системы [4].

Стремительное развитие технологий в области геодезии, картографии и информационных систем приводит к революционным изменениям в процессе сбора, обработки и представления пространственных данных. В контексте градостроительной деятельности и управления земельными ресурсами, точность и своевременность получения информации об объектах капитального строительства и инженерных коммуникациях являются критически важными. Одновременно с этим возникает технологическая проблема: большая часть исполнительных схем по-прежнему формируется в среде AutoCAD в форматах DWG и DXF, тогда как градостроительный кадастр и современные ГИС работают в объектно-атрибутивной модели данных. Иначе говоря, для постановки инженерных коммуникаций на цифровой учёт недостаточно просто иметь красивый CAD-чертёж; требуется преобразование чертежа в структурированный пространственный набор данных, пригодный для проверки, поиска, аналитики и последующего обновления [5]].

Материалы и методы

Современная топографическая съемка объектов капитального строительства и инженерных

коммуникаций для целей исполнительной документации осуществляется преимущественно с использованием спутниковых геодезических систем (GPS/GNSS). Применение высокоточных двухчастотных GPS-приемников позволяет достигать сантиметровой точности координатного определения в режиме реального времени (RTK – Real-Time Kinematic) или при постобработке данных (PPK – Post-Processed Kinematic).

На этапе полевых работ их применение наиболее эффективно при съёмке открытых участков территории, углов поворота трасс коммуникаций, колодцев, камер, опор, надземных выходов и других характерных точек инженерной инфраструктуры. Современная геодезическая практика показывает, что GNSS существенно повышает оперативность топографической съёмки, однако в стеснённых условиях городской застройки, вблизи высоких зданий, деревьев и инженерных конструкций спутниковая видимость может ухудшаться, поэтому часть точек должна дублироваться или уточняться тахеометрическими измерениями [6-8].

Полевой цикл начинается с выбора системы координат и высот, в которой будет вестись съёмка и далее оформляться исполнительная документация. Затем создаётся или уточняется съёмочное обоснование, выполняется топографическая съёмка участка и фиксируются фактические положения построенных или проложенных коммуникаций. Для подземных сетей важнейшими объектами съёмки становятся центры колодцев, камер, поворотные точки трассы, точки подключения, места пересечения, вводы в здания, а также отметки глубины заложения. На основании этих измерений формируется каталог координат характерных точек, который далее используется как для построения исполнительной схемы, так и для выноса и проверки координат углов поворота коммуникаций на местности.

Для примера в данной статье показана реальная топографическая съемка объекта индивидуального жилого строительства в городе Алматы. В пределах города съемка ведется в местной системе координат (МСК) и в Балтийской системе высот (рис.1).

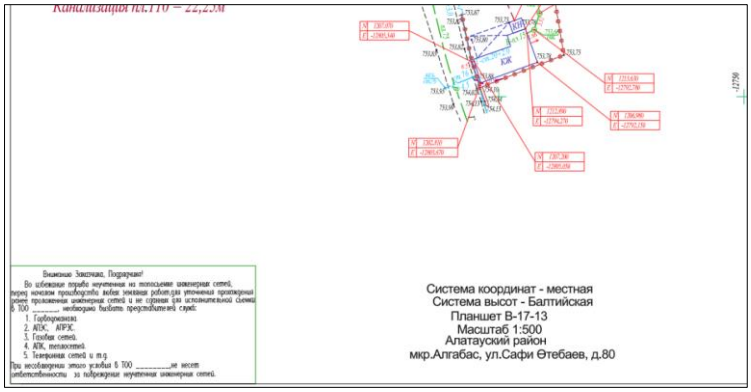


Рисунок 1 – Указание системы координат и высот на исполнительной съемке

Камеральная обработка результатов обычно выполняется в несколько этапов.

Сначала измерения выгружаются из полевого контроллера и уравниваются в специализированном ПО или в среде, сопровождающей GNSS-оборудование. Далее координаты импортируются в AutoCAD, где строится исполнительный чертёж. На этой стадии особенно важно обеспечить единую логику оформления: каждая коммуникация должна отрисовываться в собственном тематическом слое (рис.2), а характерные точки — сопровождаться подписью, отметкой и, при необходимости, кодом объекта. Для водопровода, канализации, газопровода, теплосети, кабельных линий электроснабжения и связи целесообразно использовать раздельные слои и раздельные условные обозначения. Такой подход повышает читаемость чертежа и, что ещё важнее, позволяет затем без потерь выполнить импорт данных в ГИС.

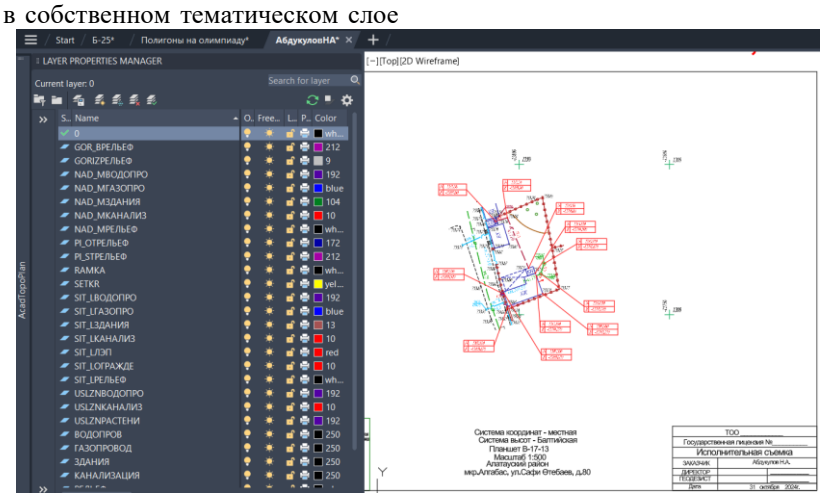


Рисунок 2 – Тематические слои отдельных коммуникаций

С практической точки зрения именно слой в CAD-среде становится первичным классификационным признаком будущего ГИС-объекта. Если, например, водопровод, канализация и кабель связи прорисованы в одном слое, то после конвертации DWG/DXF в геобазу они попадут в одну геометрию и потребуют дополнительной ручной разборки. Напротив, когда каждая сеть изначально сформирована в отдельном слое, ГИС-интеграция значительно упрощается. Поэтому уже на стадии AutoCAD следует применять единые правила именования слоёв, например: SIT_LВОДОПРО, SIT_LКАНАЛИЗ, SIT_LГАЗОПРО, SIT_LЛЭП, а для атрибутивных подписей – NAD_MВОДОПРО, NAD_MКАНАЛИЗ и т.д.

Важным аспектом является точная трассировка подземных и наземных коммуникаций. При съемке фиксируются характерные точки (начало, конец, повороты, врезки, разветвления). Координаты каждой из этих точек выносятся в отдельный блок (рис.3).

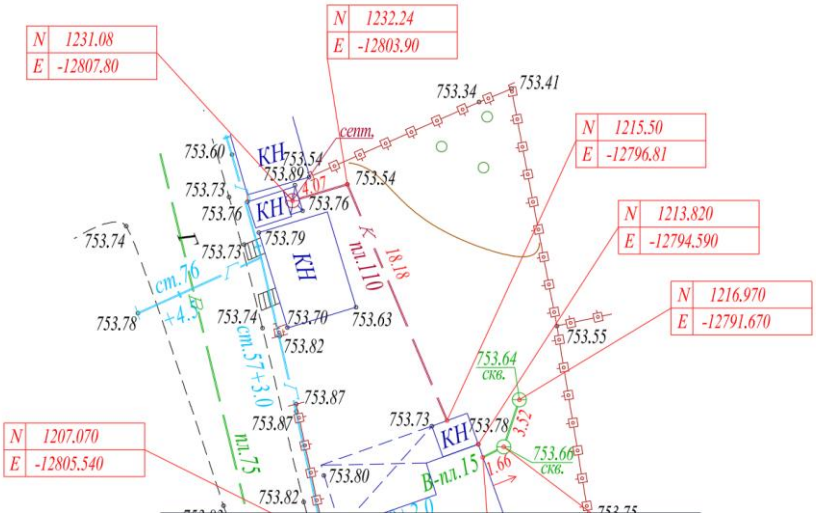


Рисунок 3 – Вынос координат характерных точек

В AutoCAD эти точки соединяются прямыми или кривыми линиями с учетом глубины заложения и других проектных параметров. Для повышения точности определения местоположения подземных коммуникаций могут использоваться трассоискатели[9].

Результаты

После подготовки исполнительной схемы в AutoCAD возникает задача перевода CAD-чертежа в ГИС-модель. В ArcGIS Pro этот процесс начинается с задания пространственной привязки. Официальная документация Esri указывает, что для корректной геопривязки CAD-данных сначала необходимо определить систему координат, а затем при необходимости выполнить геопривязку по контрольным точкам [9]. Убедиться, что данные правильно привязаны к государственной или местной системе координат, используемой в Госградкадастре РК. Это особенно важно, если исходная съемка выполнялась в иной системе или имела локальные смещения (рис.4).

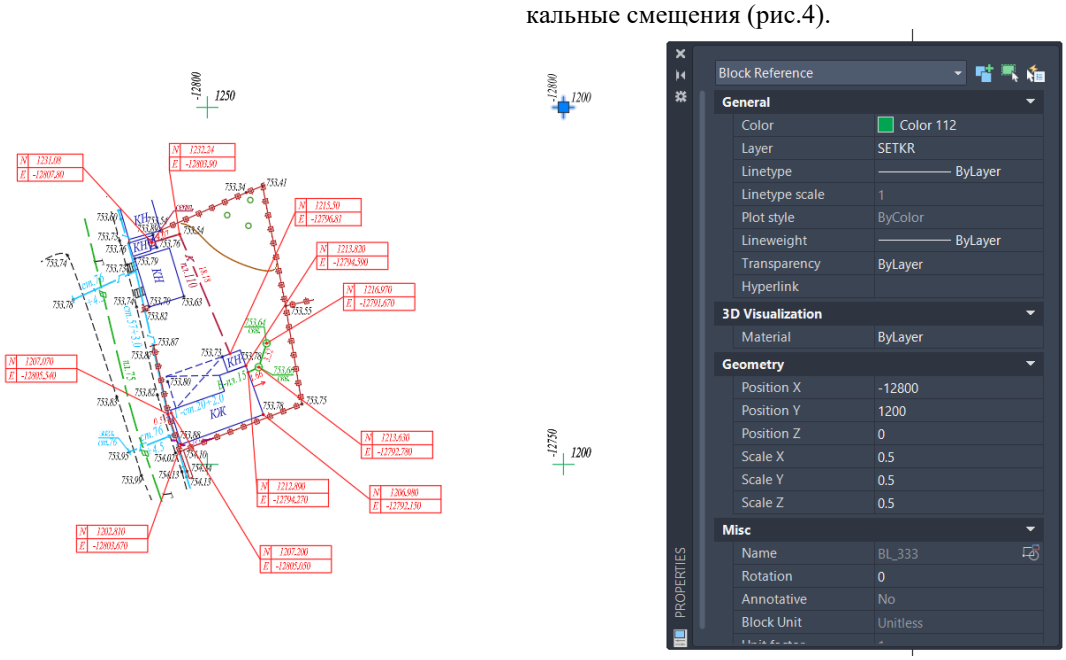


Рисунок 4 – Свойства координатной сетки

Следующий шаг – конвертация CAD-файла в geodatabase. Хотя многие ГИС-системы могут напрямую работать с DWG/DXF, для полноценной интеграции и использования всей функциональности ГИС часто требуется конвертация данных в специализированные ГИС-форматы, такие как Shapefile (SHP), Geodatabase, DGN или другие. Это может быть реализовано с помощью инструментов конвертации, встроенных в ГИС-программы (например, ArcGIS, QGIS). Документация Esri подчёркивает, что инструмент принимает форматы DWG, DXF и DGN, формирует стандартные классы точек, линий и полигонов, а при наличии дополнительных CAD-определённых классов может импортировать и связанные атрибуты [10]. Это особенно важно для исполнительных съёмок, потому что позволяет превратить чертёж в редактируемую и проверяемую пространственную базу данных.

Выводы. Технология создания и оформления исполнительных съёмок для регистрации в системе Госградкадастра на основе ГИС-технологий должна строиться как сквозной цифровой процесс. Он начинается с топографо-геодезической съёмки участка с использованием GPS/GNSS-приёмников и, при необходимости, тахеометрии; продолжается камеральной обработкой наблюдений и построением исполнительной схемы в AutoCAD; далее включает обязательное тематическое разнесение коммуникаций по слоям, формирование координатных ведомостей характерных точек и завершается импортом DWG/DXF в ГИС-среду, созданием геобазы и проверкой топологии. Такая последовательность позволяет уменьшить объём ручной переработки данных, повысить сопоставимость исполнительных материалов, обеспечить пригодность файлов для учёта в АИС ГГК и создать основу для ведения дежурного плана и дальнейшего цифрового управления городской инженерной инфраструктурой.

Список литературы

1. Строительный кодекс Республики Казахстан: Кодекс Республики Казахстан от 9 января 2026 года № 253-VIII ЗРК.

2. Об утверждении Правил ведения и предоставления информации и (или) сведений из Государственного градостроительного кадастра Республики Казахстан: приказ Министра национальной экономики Республики Казахстан от 20 марта 2015 года № 244; в редакции приказа от 25 августа 2023 года № 598.

3. Нормативный документ по ведению государственного градостроительного кадастра Республики Казахстан (СН РК 9.01-01-2022): утверждён приказом Председателя Комитета по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства МИИР РК от 2 ноября 2022 года № 201-НҚ.

4. АИС ГГК. Исполнительная геодезическая схема инженерных коммуникаций. Внесение в базу данных АИС ГГК. Официальный сервис РГП «Госградкадастр». Дата обращения: 10.04.2026.

5. АИС ГГК; Единый геопортал инфраструктурных данных. Официальные материалы РГП «Госградкадастр». Дата обращения: 10.04.2026.

6. Ghilani C. D. Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics. 16th ed. Hoboken, NJ: Pearson, 2022.

7. Hussein S. K., Abdulla K. Y. Surveying with GNSS and Total Station: A Comparative Study // *Eurasian Journal of Science and Engineering*. 2021. Vol. 7, No. 1. P. 59–73. DOI: 10.23918/eajse.v7i1p59.

8. Badhrudeen M., Boria E. S., Fonteix G., Siciliano M. D., Derrible S. The C2G Framework to Convert Infrastructure Data from Computer-Aided Design (CAD) to Geographic Information Systems (GIS) // *Informatics*. 2022. Vol. 9, No. 2. Art. 42. DOI: 10.3390/informatics9020042.

9. Esri. Georeference CAD data — ArcGIS Pro Documentation. Дата обращения: 10.04.2026.

10. Esri. CAD To Geodatabase (Conversion) — ArcGIS Pro Documentation. Дата обращения: 10.04.2026.

МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ РАСЧЁТА СПУТНИКОВЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИНДЕКСОВ

Жаксыгулова Д.А.
магистрант, Satbayev University, Аматы, Казахстан
Ержанқызы А.
PhD, ассоц. профессор, Satbayev University, Аматы, Казахстан

MONITORING THE ENVIRONMENTAL STATE OF THE CASPIAN SEA BASED ON THE CALCULATION OF SATELLITE SPECTRAL INDICES

Zhaksygulova D.
Master's student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
Erzhankyzy A.
PhD, Associate Professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.20152649

Аннотация

В статье представлен анализ экологического состояния Каспийского моря по данным дистанционного зондирования Земли на основе расчёта спектральных индексов в среде Google Earth Engine. Комплексный анализ экологического состояния акватории осуществлялся на основе спектральных индексов FAI (Floating Algae Index), NDTI (Normalized Difference Turbidity Index) и CI (Chlorophyll Index), отражающих наличие поверхностных водорослевых скоплений, степень мутности и относительные изменения содержания хлорофилла в воде. Полученные результаты подтверждают применимость дистанционного зондирования Земли для оперативного мониторинга морских экосистем, выявления зон потенциального экологического риска и оценки пространственной неоднородности ключевых экологических показателей.

Abstract

The article presents an analysis of the environmental state of the Caspian Sea based on remote sensing data through the calculation of spectral indices within the Google Earth Engine platform. A comprehensive assessment of the environmental condition of the water area was carried out using the spectral indices FAI (Floating Algae Index), NDTI (Normalized Difference Turbidity Index), and CI (Chlorophyll Index), which characterize the presence of floating algal accumulations, the degree of water turbidity, and relative variations in chlorophyll content. The obtained results confirm the applicability of remote sensing techniques for operational monitoring of marine ecosystems, identification of potential ecological risk zones, and assessment of spatial heterogeneity of key environmental indicators.

Ключевые слова. Каспийское море, экологическое состояние, период наблюдений, космические снимки, дистанционное зондирование Земли, спектральные индексы, качество воды.

Keywords: Caspian Sea, ecological status, observation period, satellite imagery, Earth observation, spectral indices, water quality.

1. Введение

Исследование экологического состояния Каспийского моря имеет важное научное и прикладное значение, поскольку в последние десятилетия наблюдаются процессы обмеления, трансформация береговой зоны и изменения гидроэкологических условий. Эти изменения отражаются на качестве воды, прозрачности, концентрации взвешенных веществ и уровне биологической продуктивности.

В условиях ограниченности регулярных инструментальных наблюдений важную роль приобретают методы дистанционного зондирования Земли. Рост мутности и колебания содержания хлорофилла могут служить индикаторами трансформации экосистемы, усиления антропогенной нагрузки и климатических изменений.

Целью настоящего исследования является оценка экологического состояния Каспийского моря на основе расчёта спектральных индексов по данным спутниковых снимков Sentinel-2 с использованием платформы Google Earth Engine и выявление пространственно-временных особенностей показателей качества воды.

2. Материалы и методы

В качестве исходных данных использовались мультиспектральные снимки миссии Sentinel-2. Данные Sentinel-2 обеспечивают высокое пространственное разрешение (10–20 м) и частую повторяемость съёмки, что делает их пригодными для регулярного анализа гидрооптических характеристик прибрежных и открытых вод. Предобработка и расчёт индексов выполнялись в облачной платформе Google Earth Engine (GEE). Использование GEE позволяет работать с крупными архивами спутниковых данных без локального скачивания, применять единый воспроизводимый алгоритм обработки для любых дат и территорий, быстро формировать композиты, маскировать облачность и рассчитывать индексы на больших акваториях.

Методы дистанционного зондирования Земли и расчёт спектральных индексов приобретают особое значение как инструмент оперативной, пространственно-непрерывной и сопоставимой во времени оценки состояния акватории. В отличие от точечных гидрохимических и гидробиологических измерений, спутниковые наблюдения позволяют

регулярно получать информацию на больших площадях, включая труднодоступные участки, и выявлять зоны с неблагоприятными гидрооптическими характеристиками.

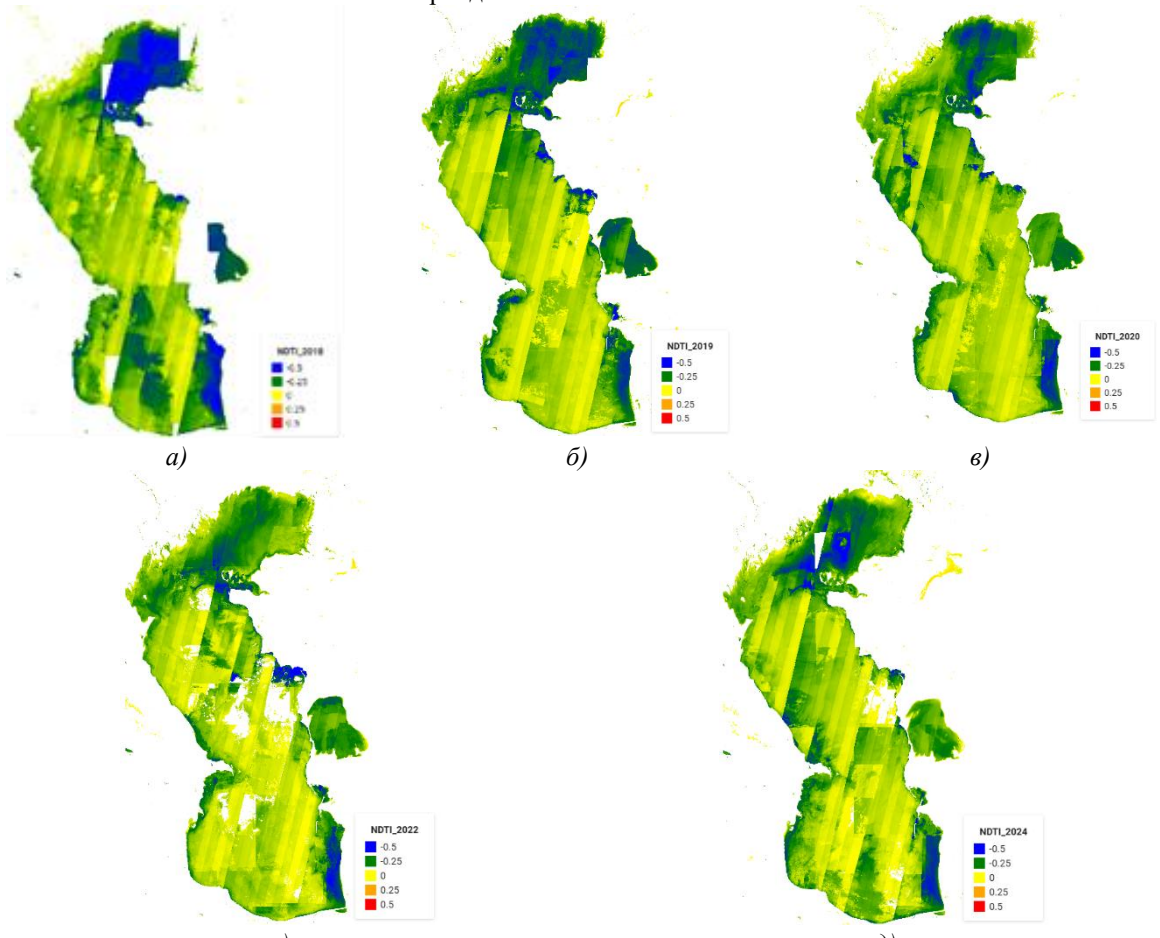
Таблица 1

Многоспектральные индексы, используемые для анализа экологического состояния водного оъекта

Индекс	Формула расчета	Диапазон значений
Normalized Difference Turbidity Index (NDTI)	NDTI=(Red−Green)/(Red+Green)	от −1 до +1.
Chlorophyll Index (CI)	CI=(RedEdge/Red) - 1	от −1 до +∞
Floating Algae Index (FAI)	FAI=NIR − [Red + (SWIR − Red) · (λNIR − λRed) / (λSWIR − λRed)]	Значения воды около 0 и отрицательные

Индекс мутности NDTI используется для оценки гидрооптических проявлений взвешенных частиц в воде: рост значений NDTI, как правило, соответствует увеличению концентрации взвеси и снижению прозрачности. Это может быть связано с процессами взвешивания донных отложений на мелководье, ветрового перемешивания, береговой эрозии и перераспределения наносов, что, в свою очередь, влияет на световой режим и условия обитания гидробионтов.

Расчёт индекса NDTI выполнялся для периода май–июль за 2018–2024 гг. Выбор данного интервала обусловлен тем, что он соответствует периоду открытой воды и устойчивой инсоляции, обеспечивает сопоставимость межгодовых оценок и снижает влияние сезонных факторов (в частности, ледовых/зимних условий и низкой освещённости), которые ухудшают корректность спектральной интерпретации водной поверхности. В пределах исследуемой акватории значения индекса в анализируемые годы варьировались от −0,5 до +0,5, при этом более высокие значения интерпретировались как усиление мутности.



а) *б)* *в)* *г)* *д)*

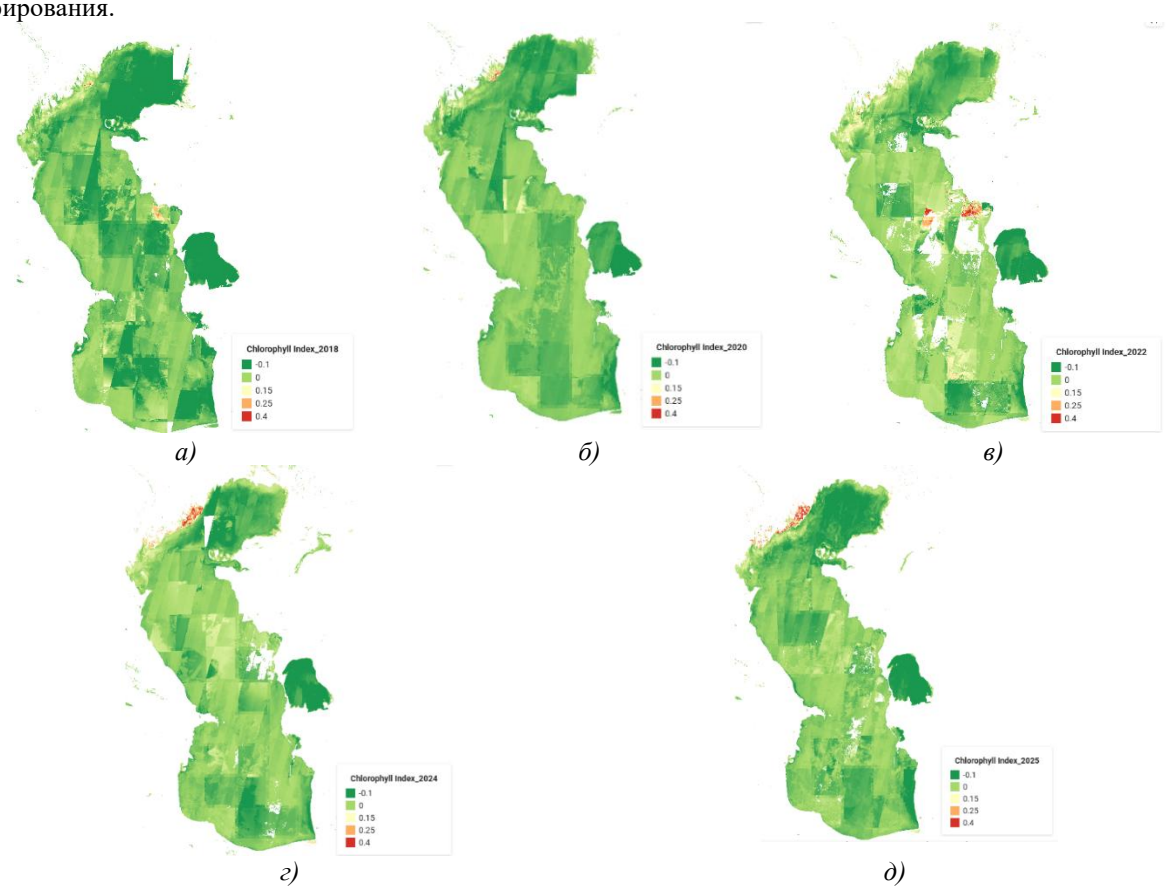
Рисунок 2 - Изменения мутности Каспийского моря: а) 2018г. б) 2019 г. в) 2020 г. г) 2022 г. д) 2024г.

По результатам расчёта NDTI становится возможной локализация участков с повышенной мутностью и выделение зон, где наблюдаются выраженные изменения гидрооптических характеристик. Сопоставление карт за 2018 и 2024 годы показывает тенденцию к увеличению мутности: в 2024 году на большей части акватории значения индекса смещаются к средним (более высоким) значениям, тогда как для 2018 года более характерны низкие значения от −0.5 до −0,25,

соответствующие относительно меньшей мутности. Такая пространственная картина указывает на расширение областей с повышенной взвесью и подтверждает информативность NDTI для выявления зон потенциального экологического риска и последующего приоритетного обследования.

Индекс Chlorophyll Index (CI) ориентирован на оценку относительных изменений хлорофилла и может использоваться как индикатор изменений в фотосинтезирующей компоненте водной среды, включая периоды повышенной трофности и эвтрофирования.

Расчёт индекса CI выполнялся за период 2018–2025 гг. Полученные карты позволяют выделять участки с повышенными и потенциально критическими значениями хлорофилл-ассоциированного сигнала, которые могут служить ранним индикатором эпизодов интенсивного развития “цветения” воды. Подобные состояния нередко сопровождаются ухудшением гидроэкологической обстановки: ростом органической нагрузки, снижением прозрачности, возможными колебаниями содержания растворённого кислорода



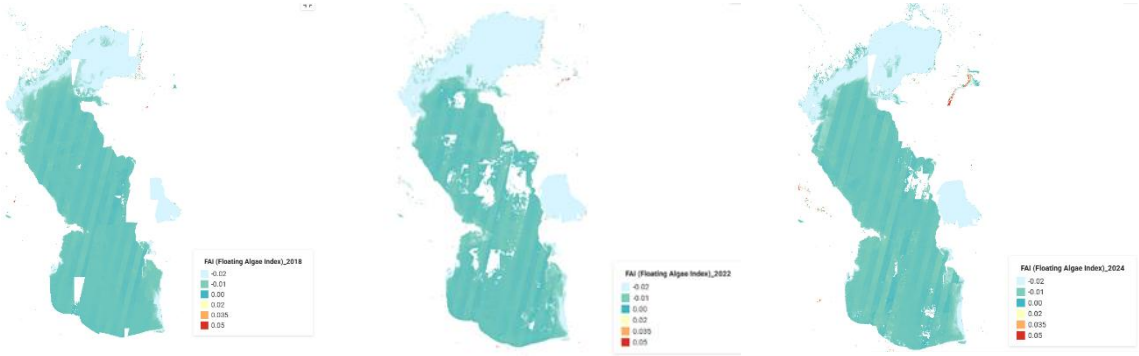
а) *б)* *в)*

г) *д)*

Рисунок 3 – Изменения уровня концентрации хлорофилла в Каспийском море : а) 2018 г. б) 2020 г. в) 2022 г. г) 2024 г. д) 2025г.

Пространственная локализация зон с высокими значениями CI также позволяет соотнести их с потенциальными факторами воздействия прибрежные мелководья, зоны интенсивного водообмена, участки влияния речного стока и антропогенных источников, что повышает обоснованность интерпретации и помогает выделять приоритетные районы для детального инструментального контроля.

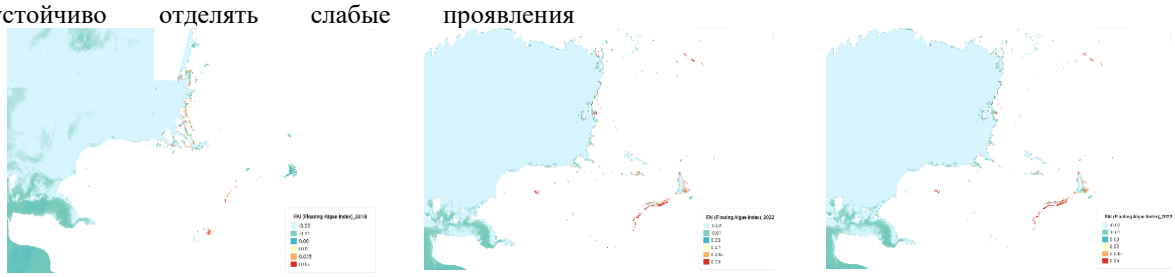
Индекс FAI дополняет анализ, позволяя выявлять проявления поверхностных водорослевых скоплений и связанные с ними эпизоды ухудшения качества воды, которые важны для экосистемной устойчивости и водопользования.



а) б) в)

Рисунок 4 - Индекс FAI : а) 2018 г. б) 2020 г. в) 2024 г.

Индекс FAI (Floating Algae Index) применяется для выявления поверхностных скоплений водорослей и органической взвеси, а также иных плавающих на поверхности образований, которые изменяют спектральный отклик воды. В основе FAI лежит оценка превышения отражения в ближнем инфракрасном диапазоне над «фоновым» уровнем водной поверхности, что делает индекс чувствительным именно к объектам/явлениям, локализованным в поверхностном слое. В отличие от ряда других индексов, FAI позволяет более устойчиво отделять слабые проявления поверхностных скоплений от фона воды, поскольку использует сочетание каналов видимого, NIR и SWIR диапазонов и тем самым частично снижает влияние общей яркости сцены и атмосферных эффектов. Расчёт индекса FAI выполнялся за период 2018–2024 гг. Полученные карты распределения FAI позволяют локализовать участки, где фиксируются положительные значения индекса, интерпретируемые как зоны потенциального наличия поверхностных водорослевых скоплений/плёночных образований.



а) б) в)

Рисунок 5 – Локализация участков с характерным увеличением значения FAI: а) 2018 г. б) 2020 г. г) 2024 г

Дополнительно была выполнена наглядная локализация участков акватории, для которых характерны наиболее выраженные изменения по индексу FAI. На выбранных репрезентативных фрагментах прослеживается увеличение значений индекса и расширение площадей с положительными значениями, что указывает на усиление проявлений поверхностных скоплений и их более широкое пространственное распространение в анализируемый период. Выделение таких участков позволяет определить зоны повышенного внимания и сформировать основу для приоритетного инструментального обследования и сопоставления с потенциальными источниками воздействия.

3. Результаты и обсуждение

Таким образом, применение набора взаимодополняющих спектральных индексов обеспечивает комплексную интерпретацию изменений гидроэкологического состояния Каспийского моря и формирует научно обоснованную основу для регулярного контроля, раннего выявления потенциально проблемных участков и поддержки управленческих решений в прибрежной зоне.

В результате расчёта индексов по спутниковым данным выявлена выраженная пространственная неоднородность гидрооптических характеристик акватории, при этом наибольшая вариабельность показателей, как правило, приурочена к прибрежной зоне и мелководьям, где влияние ветрового перемешивания, перераспределения наносов и локальных источников вещества проявляется наиболее заметно. Сопоставление карт за разные годы демонстрирует, что экологические параметры воды изменяются неравномерно: наблюдаются как относительно стабильные участки, так и зоны с отчётливым усилением сигналов, интерпретируемых как ухудшение прозрачности и/или рост биологической активности поверхностного слоя.

По индексу мутности NDTI установлена тенденция к увеличению мутности в сопоставляемые периоды. В частности, при сравнении карт 2018 и 2024 годов отмечается смещение распределения значений NDTI в сторону более высоких (более «мутных») значений на зна значительной части акватории: если для 2018 года в большей степени были характерны значения порядка −0,50…−0,25, то для 2024 года преобладают более близкие к сред-

ним значения, что указывает на расширение областей с повышенной взвесью. Данный результат согласуется с ожидаемыми последствиями обмеления и перестройки прибрежной зоны: на мелководьях возрастает роль ветрового взмучивания донных отложений и переноса взвешенного материала, что приводит к снижению прозрачности и потенциально влияет на световой режим и местообитания гидробионтов.

Результаты по индексу CI (Chlorophyll Index) показывают наличие зон с повышенными значениями хлорофилл-чувствительного отклика, что позволяет выделять участки с потенциально неблагоприятными гидроэкологическими условиями. Для периода 2018–2025 гг. карты CI дают возможность локализовать области с «критическими» (повышенными относительно фоновых) значениями, которые могут служить индикатором усиления трофического состояния и эпизодов интенсивного развития фитопланктона. Такие участки являются приоритетными для дальнейшей проверки, поскольку повышенные значения CI могут сопровождаться ухудшением качества воды (например, снижением прозрачности, изменением кислородного режима и ростом органической нагрузки), а также быть связаны с локальными факторами — речным стоком, прибрежными источниками загрязнения и условиями водообмена.

Анализ индекса FAI за период 2018–2024 гг. выявил участки с положительными значениями, интерпретируемыми как зоны вероятного присутствия поверхностных скоплений (водорослевых/органических) или плёночных образований. В рамках работы была выполнена наглядная локализация участков, где изменения наиболее выражены: на выбранных фрагментах наблюдается увеличение значений FAI и расширение площадей с положительным сигналом, что указывает на усиление проявлений поверхностных явлений в рассматриваемый интервал.

Совместная интерпретация трёх индексов повышает достоверность выводов: рост NDTI отражает усиление мутности и взвеси, повышенные значения CI указывают на изменения хлорофилл-чувствительного отклика, а положительные значения FAI позволяют дополнительно фиксировать поверхностные проявления. При этом следует учитывать ограничения спутниковой интерпретации: индексы характеризуют оптические признаки и требуют верификации натурными измерениями (мутность, взвешенные вещества, хлорофилл-а), а в прибрежной зоне на результаты могут влиять смешанные пиксели (вода/суша), мелководье и донное отражение. Несмотря на это, полученные карты являются информативной основой для скринингового мониторинга, выявления аномальных зон и последующего планирования инструментальных наблюдений.

Список литературы

1. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sensing of Environment. 2017. Vol. 202. P. 18–27. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031.

2. Drusch M., Del Bello U., Carlier S., et al. Sentinel-2: ESA's Optical High Resolution Mission for GMES Operational Services // Remote Sensing of Environment. 2012. Vol. 120. P. 25–36. DOI: 10.1016/j.rse.2011.11.026.

3. Hu C. A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans // Remote Sensing of Environment. 2009. Vol. 113(10). P. 2118–2129. DOI: 10.1016/j.rse.2009.05.012.

4. Bramich J., Bolch C.J.S., Fischer A. Improved red-edge chlorophyll-a detection for Sentinel-2 // Ecological Indicators. 2021. Vol. 120. Article 106876. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106876.

5. Mishra S., Mishra D.R. Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters // Remote Sensing of Environment. 2012.

АНАЛИЗ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ ОСВОЕНИЯ И ПЛАНИРОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ В ПРИГОРОДНЫХ ЗОНАХ ГОРОДА АЛМАТЫ

Жумабек А.Б.,
магистрант, Satbayev University, Алматы, Казахстан
Усипбаев Н.Б.
профессор, доктор PhD, Satbaye University, Алматы, Казахстан
Ерданинова Д.М.
Школа-лицей № 54 имени И.В. Панфилова, Алматы, Казахстан

ANALYSIS OF CURRENT ISSUES OF LAND DEVELOPMENT AND PLANNING IN SUBURBAN AREAS OF ALMATY

Zhumabek A.
Master's student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
Usipbayev N.
Professor, PhD, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
Erdaninova D.
School-Lyceum No. 54 named after I.V. Panfilov, Almaty, Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.20152685

Аннотация

В статье рассматриваются современные проблемы освоения и территориального планирования земель в пригородной зоне города Алматы. Актуальность исследования обусловлена ускоренной урбанизацией, расширением агломерационных процессов, усилением транспортной и экологической нагрузки, а также противоречиями между интересами городского развития, сельскохозяйственного землепользования и охраны природных ландшафтов. На основе анализа нормативно-правовой базы, генерального плана пригородной зоны и современных тенденций пространственного развития выявлены ключевые проблемы: несоответствие фактического землепользования планировочным решениям, хаотичная застройка, сокращение сельскохозяйственных земель, институциональная разобщенность управления и недостаточная интеграция экологических ограничений в систему территориального планирования.

Abstract

This article examines current issues of land development and spatial planning in the suburban area of Almaty. The relevance of the study is determined by accelerated urbanization, expanding agglomeration processes, increasing transport and environmental pressures, and conflicting interests between urban development, agricultural land use, and natural landscape protection. Based on an analysis of the regulatory framework, the suburban master plan, and current spatial development trends, key issues are identified: discrepancies between actual land use and planning decisions, chaotic development, shrinking agricultural land, institutional fragmentation, and insufficient integration of environmental constraints into the spatial planning system.

Ключевые слова: пригородная зона, Алматы, землепользование, территориальное.

Keywords: suburban area, Almaty, land use, territorial planning, agglomeration, functional zoning, environmental safety, land resources.

Введение.

Пригородные зоны крупных городов представляют собой особый тип территорий, в пределах которых наиболее ярко проявляются процессы урбанизации, трансформации землепользования и пространственного перераспределения функций. В отличие от центральных городских районов, где преобладают сформированные инфраструктурные и административные структуры, пригородные территории находятся в состоянии постоянного изменения. Здесь сталкиваются интересы жилищного строительства, транспортного развития, сельского хозяйства, рекреационного использования и природоохранной политики.

Для Алматы данная проблематика имеет особую значимость. Город является крупнейшим экономическим, научным, культурным и транспортным центром Казахстана, а значит, оказывает мощное влияние на прилегающие территории. Генеральный план пригородной зоны Алматы определяет ее как пространство, предназначенное для согласования интересов города и области, формирования экологически благоприятной среды и рациональной функционально-планировочной организации территории. Вместе с тем на практике процессы освоения земель нередко опережают планировочные решения, что приводит к несогласованности использования земель и росту территориальных конфликтов.prg+1

Актуальность исследования обусловлена тем, что пригородная зона Алматы выполняет одновременно несколько стратегических функций: резерв территории для развития города, зона сельскохозяйственного производства, экологический буфер, транспортно-логистический коридор и рекреационное пространство. При этом именно эта территория подвергается наиболее интенсивному антропогенному воздействию. Следовательно, анализ проблем освоения и планирования земель здесь имеет не только теоретическое, но и прикладное значение

для выработки устойчивой модели развития агломерации.adilet.zan+1

Методология исследования. Методологическая основа работы включает системный, сравнительно-правовой, территориально-планировочный и структурно-функциональный подходы. Системный подход позволяет рассматривать пригородную зону как целостную территориальную систему, в которой природные, хозяйственные и административные элементы взаимосвязаны. Территориально-планировочный подход используется для анализа пространственного распределения функций и выявления зон конфликта между различными видами землепользования.

Сравнительно-правовой метод дает возможность сопоставить нормативные положения и реальные практики землепользования, а структурно-функциональный подход — определить, как меняется роль пригородной зоны в условиях агломерационного роста. Такой методологический инструментарий является достаточным для качественного анализа современного состояния проблемы.

Нормативно-правовая основа

Правовое регулирование пригородной зоны Алматы основано на специальных нормативных актах, устанавливающих ее границы, функции и режим использования земель. В документах указано, что пригородная зона включает территории интенсивного развития сельскохозяйственного производства, зоны особого градостроительного регулирования и иные участки, определенные в составе комплексной схемы развития прилегающих территорий.

Генеральный план пригородной зоны города Алматы был разработан для территории, охватывающей значительную площадь и включающей несколько административных районов Алматинской области. Его главная цель — формирование экологически благоприятной и безопасной среды жизнедеятельности населения, а также создание функционально-планировочной организации территории с учетом взаимосвязанных интересов города Алматы и области.

Пространственная специфика пригородной зоны

Пригородная зона Алматы характеризуется высокой территориальной неоднородностью. В ее пределах сочетаются сельскохозяйственные земли, предгорные участки, транспортные коридоры, зоны инженерной инфраструктуры, рекреационные территории и пространства перспективной застройки. Такое сочетание делает территорию особенно чувствительной к любым изменениям функционального назначения земель.

С одной стороны, пригородная зона обладает значительным ресурсным потенциалом. Она обеспечивает город резервными территориями, транспортной связностью, сельскохозяйственной продукцией, зелеными пространствами и рекреационными ресурсами. С другой стороны, высокая инвестиционная привлекательность этой зоны усиливает давление на земельный фонд и провоцирует его ускоренную трансформацию.

Основные проблемы освоения земель

Несоответствие планирования и фактического освоения

Одной из центральных проблем является расхождение между утвержденными градостроительными документами и реальной практикой землепользования. В ряде случаев земельные участки переводятся под строительство быстрее, чем корректируются планы и схемы функционального зонирования. Это приводит к фрагментации пространства, неравномерному распределению инфраструктуры и снижению управляемости территории.

Хаотичная застройка

В пригородной зоне наблюдается тенденция к стихийной застройке, особенно в местах с высокой транспортной доступностью. Размещение жилых массивов, складских объектов, сервисных площадок и отдельных коммерческих построек часто осуществляется без единой пространственной логики. Это вызывает рост нагрузки на дороги, инженерные сети и социальную инфраструктуру.

Рис.1 Проблемы освоения и планирования земель в пригородной зоне Алматы

Сокращение сельскохозяйственных земель

Пригородные территории исторически выполняли важную функцию обеспечения города продовольствием. Однако по мере роста стоимости земли и спроса на строительство сельскохозяйственные земли все чаще выводятся из оборота. Это ослабляет продовольственную устойчивость и сокращает буферные функции территории. В более широком смысле происходит утрата традиционной сельскохозяйственной специализации пригородной зоны.

Земельные конфликты

В условиях высокой экономической ценности земли обостряются конфликты, связанные с изменением целевого назначения участков, изъятием территорий под инфраструктурные проекты и пересечением интересов различных пользователей. Подобные конфликты усиливаются там, где отсутствует прозрачный механизм согласования решений.

Утрата ландшафтной целостности

Освоение предгорных и зеленых территорий без учета экологических ограничений приводит к деградации ландшафтов, сокращению рекреационных зон и нарушению природных связей. Это особенно опасно для Алматы, где предгорья и зеленый пояс играют ключевую роль в поддержании экологического баланса.

Экологические и инфраструктурные риски

Экологическая ситуация в пригородной зоне Алматы определяется сочетанием природных и антропогенных факторов. Для этой территории характерны сейсмическая активность, селевые риски, неоднородность рельефа и чувствительность к техногенной нагрузке. Это означает, что любое новое освоение должно проходить через призму природных ограничений.

Особую значимость имеют зеленые и буферные территории, выполняющие функции климатического регулирования, пылезадержания, водорегулирования и санитарной защиты. Их сокращение приводит к ухудшению качества воздуха, усилению перегрева территории и снижению устойчивости агломерации к экологическим стрессам. В этой связи территориальное планирование должно исходить из приоритета экологической безопасности, а не только экономической целесообразности.

Инфраструктурные проекты также оказывают существенное влияние на освоение пригородных земель. Развитие транспортных коридоров, включая внешние магистрали и подъездные дороги, повышает доступность территории и стимулирует ее застройку. Однако при отсутствии комплексной стратегии это приводит к линейной урбанизации вдоль магистралей и расползанию застройки. Следовательно, транспортное и земельное планирование должны осуществляться синхронно.

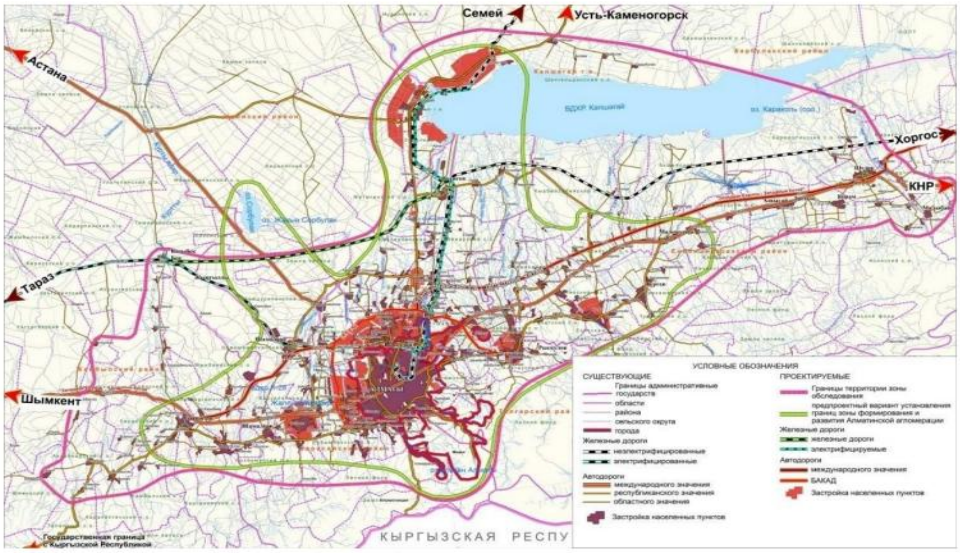


Рис. 2. Схема территории формирования Алматинской агломерации

Институциональные противоречия

Одной из главных причин проблем является институциональная разобщенность управления. Пригородная зона Алматы находится в административном подчинении области, но ее развитие тесно связано с интересами города. Это создает ситуацию, когда различные органы власти несут частичную ответственность за один и тот же территориальный комплекс, но не всегда обладают единым механизмом координации.

На практике это выражается в том, что решения о землепользовании, строительстве и инфраструктурном развитии принимаются несогласованно. В результате возникает эффект административного разрыва между пространством и управлением. Для его преодоления необходимы межуровневые механизмы планирования, совместные кадастровые и геоинформационные базы, а также единая стратегия развития агломерации.

Направления совершенствования

Для решения выявленных проблем необходим комплекс мер.

Во-первых, требуется регулярное обновление генерального плана и схем функционального зонирования с учетом текущей динамики населения,

экономики и инфраструктуры. Планировочные документы должны иметь не декларативный, а реально регулирующий характер.prg

Во-вторых, следует внедрять цифровые технологии мониторинга земель. Геоинформационные системы позволяют отслеживать изменения в структуре землепользования, выявлять нецелевое использование участков и прогнозировать последствия различных сценариев освоения.

В-третьих, необходимо усилить межведомственную координацию. Развитие пригородной зоны требует согласования решений между городскими и областными органами, а также между структурами архитектуры, экологии, земельного контроля и транспорта.

В-четвертых, приоритетом должно стать сохранение экологического каркаса, включая зеленые зоны, водоохранные территории и природные коридоры. Эти пространства являются не резервом застройки, а условием устойчивого развития Алматы.adilet.zan

В-пятых, необходимо ограничивать стихийную застройку и обеспечивать функциональную совместимость различных видов землепользования. Жилые, производственные, сельскохозяйственные и рекреационные территории должны развиваться по единой пространственной логике.

Обсуждение

Анализ показывает, что пригородная зона Алматы развивается под воздействием сильного урбанизационного давления, но ее пространственная организация не всегда соответствует темпам и характеру этих изменений. В результате возникает риск утраты сельскохозяйственных земель, экологических функций и территориальной целостности.prg+1

Вместе с тем при правильном управлении пригородная зона может стать устойчивым пространственным буфером между городом и природной средой. Она способна одновременно выполнять функции продовольственного обеспечения, рекреации, транспортной связности и экологической стабилизации. Следовательно, проблема заключается не в самом факте освоения территории, а в качестве и логике этого освоения.

Выводы.

1. Пригородная зона Алматы является стратегически важной территорией, от состояния которой зависит устойчивость городской агломерации.
2. Основные проблемы ее освоения связаны с несоответствием планов и фактического землепользования, хаотичной застройкой, сокращением сельхозземель и экологической нагрузкой.
3. Институциональная разобщенность управления снижает эффективность реализации градостроительных решений.
4. Для устойчивого развития территории необходимы обновление планировочной документации, цифровой мониторинг, межведомственная координация и приоритет экологической безопасности.
5. Пригородная зона должна рассматриваться как особый пространственный пояс регулирования, а не как зона стихийного расширения города.

Список литературы

1. О пригородной зоне города Алматы [Электронный ресурс]: нормативный правовой акт. – Режим доступа: https://adilet.zan.kz
2. О Генеральном плане пригородной зоны города Алматы [Электронный ресурс]: постановление Правительства Республики Казахстан. – Режим доступа: https://adilet.zan.kz
3. Разработан генеральный план развития пригородной зоны Алматы [Электронный ресурс] // Информационное агентство. – Режим доступа: https://www.inform.kz
4. Земли изымают в Алматинской области под дороги к БАКАД и метро в Алматы [Электронный ресурс] // Информационный портал. – Режим доступа: https://www.zakon.kz
5. Алматы находится на грани утраты природного ландшафта [Электронный ресурс] // Аналитическая публикация. – Режим доступа: https://www.kursiv.kz

GNSS ЖӘНЕ СПУТНИКТІК ДЕРЕКТЕРДІ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, МЕТРОПОЛИТЕН АЙМАҒЫНДАҒЫ ИНЖЕНЕРЛІК ҚҰРЫЛЫСТАРДЫҢ ДЕФОРМАЦИЯЛЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРІН КЕШЕНДІ ЗЕРТТЕУ

Жумаханов А.
магистрант, Satbaye University, Алматы, Қазақстан
Кожаев Ж.Т.
PhD профессор, Satbayev University, Алматы, Қазақстан

COMPREHENSIVE STUDY OF DEFORMATION CHANGES IN ENGINEERING STRUCTURES WITHIN THE METRO AREA USING GNSS AND SATELLITE DATA

Zhumakhanov A.
Master's Student, Satbaye University, Almaty, Kazakhstan
Kozhaev Zh.
PhD профессорSatbayev University, Almaty, Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.20152706

Аңдатпа

Бұл мақалада GNSS-технологиялары мен спутниктік радиолокациялық деректерді интерферометриялық өңдеу (InSAR) негізінде Алматы метрополитенінің әсер ету аймағындағы инженерлік құрылыстардың деформацияларын кешенді геодезиялық және спутниктік мониторингтеудің интеграцияланған тәсілі ұсынылған. Әдістеме RTK/PPP режиміндегі үздіксіз жоғары дәлдікті GNSS-бақылауларды мультижиілікті қабылдағыштарды (мысалы, Spectra SP90m немесе ұқсастары) қолдана отырып және Sentinel-1 деректерін PS-InSAR және SBAS-InSAR әдістерімен өңдеуді біріктіреді. GNSS-өлшеулер іргетастардың, тіректердің және метро трассасының бақылау нүктелерінде жүргізіледі, ал InSAR әрбір объектіге жабдық орнатпай-ақ бүкіл аумақта деформацияларды кеңістіктік карталауды қамтамасыз етеді. Екі технологияны біріктіру тік және көлденең орын ауыстырулардың 3D-модельдерін құруға, сейсмикалық белсенділікті, тектоникалық процестерді және жерасты құрылысының антропогендік әсерлерін ескеруге мүмкіндік береді.

Abstract

The article presents an integrated approach to comprehensive geodetic and satellite-based monitoring of deformations of engineering structures within the influence zone of the Almaty metro, based on GNSS technologies and interferometric processing of satellite radar data (InSAR). The methodology combines continuous high-precision GNSS observations in RTK/PPP mode using multi-frequency receivers (e.g., Spectra SP90m or аналогues) with Sentinel-1 data processing using PS-InSAR and SBAS-InSAR techniques. GNSS measurements are performed at control points on foundations, supports, and along the metro alignment, while InSAR provides spatial mapping of deformations across the entire ტერიტry without installing equipment on each объект. The integration of the two technologies enables the development of 3D models of vertical and horizontal displacements, taking into account seismic activity, tectonic processes, and anthropogenic impacts of underground construction.

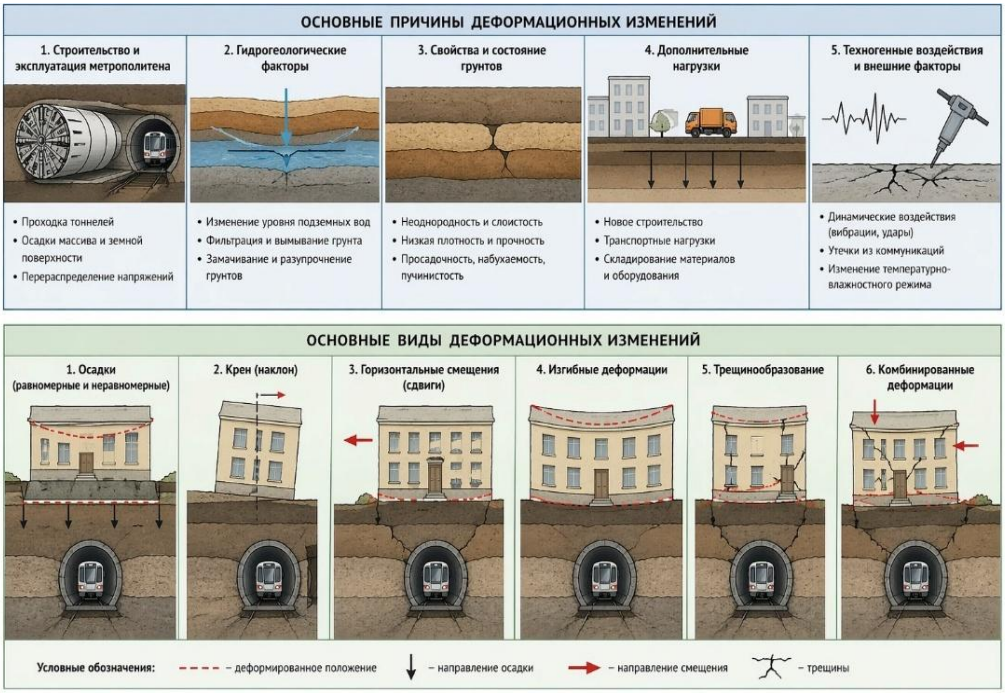
Негізгі сөздер: метрополитен, құрылыстардың деформациясы, GNSS-мониторинг, InSAR, PS-InSAR, SBAS-InSAR, Sentinel-1, сейсмикалық белсенділік, Алматы.

Keywords: metro, structural deformation, GNSS monitoring, InSAR, PS-InSAR, SBAS-InSAR, Sentinel-1, seismic activity, Almaty.

1. Кіріспе

Қазіргі мегаполистер, соның ішінде Алматы қаласы, жерүсті және жерасты инфрақұрылымының қарқынды даму кезеңін бастан кешіруде. Жер телімдерінің құнының өсуі биік ғимараттар мен күрделі инженерлік нысандардың құрылысын ынталандырады, бұл әсіресе тығыз қалалық құрылыс жағдайында өзекті болып табылады. Осындай жағдайда метрополитеннің әсер ету аймағындағы инженерлік құрылыстардың деформациялық процестерін кешенді мониторингтеу аса маңызды мәнге ие болады.

Деформациялар (шөгу, көтерілу, еңкею, көлденең ығысу) көптеген факторлардың әсерінен пайда болады: тоннельдердің құрылысы, дірілдер, жерасты сулары деңгейінің өзгеруі, тектоникалық қозғалыстар және топырақтардың тығыздалуы. Алматының сейсмикалық белсенді аймағында бұл процестер табиғи және антропогендік әсерлермен күшейеді, бұл жоғары дәлдікті, үздіксіз және кеңістіктік бөлінген бақылауды талап етеді (1-сурет).



1-сурет. Метрополитен аймағындағы инженерлік құрылыстардағы деформациялық өзгерістердің негізгі себептері мен түрлері

2. **Кешенді мониторинг әдістері**

Мониторинг міндеттері спутниктік және геодезиялық заманауи технологиялар көмегімен шешіледі, олар ГОСТ 24846–2013 жаңартылған нұсқасының талаптарына толық сәйкес келеді. Әдістеменің негізін бірін-бірі толықтыратын екі тәсілді интеграциялау құрайды.

2.1 Деформацияларды мониторингтеудегі GNSS-технологиялар

GNSS (Global Navigation Satellite System) - бұл GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou және QZSS жүйелерінің шоқжұлдыздарын біріктіретін көпжүйелі спутниктік навигация технологиясы. Геодезиялық мониторинг міндеттерінде GNSS ауа райына, тәулік уақытына, рельефке және пункттер арасындағы тікелей көрінудің болмауына тәуелсіз түрде объектілердің үшөлшемді орын ауыстыруларын миллиметрлік дәлдікпен жоғары дәлдікті, үздіксіз және толық автоматтандырылған түсірілімді қамтамасыз етеді.

Алматыдағы зерттеулер үшін соңғы буындағы жоғары дәлдікті мультижиілікті GNSS-қабылдағыштар пайдаланылады, мысалы Spectra SP90m (Faza 2) немесе олардың заманауи балама-лары (Trimble R12i, Leica GS18, Topcon HiPer HR және т.б.), бөлек жоғары сезімтал антеннамен жабдықталған (2-сурет). Бұл қабылдағыштар барлық қолжетімді жиіліктер мен сигналдарды (L1/L2/L5, E1/E5, B1/B2/B3) қолдайды, бұл тығыз қалалық құрылыс жағдайында, яғни биік ғимараттардан сигналдардың көлеңкеленуі мен шағылуы мүмкін болғанда, кедергіге төзімділікті едәуір арттырады.

2-сурет. Бөлек антеннасы бар мультижиілікті спутниктік GNSS-қабылдағыш Spectra SP90m (немесе үздіксіз мониторингке арналған заманауи баламасы)

Бақылауларды ұйымдастыру Алматы жағдайына оңтайлы бейімделген бірнеше режимді қамтиды:

1. Үздіксіз мониторинг (Permanent GNSS stations) - ең жауапты нысандарда («Алатау», «Сай-

ран» станцияларының іргетастары, жерүсті учаскелерінің тіректері, тоннельдердің тікелей әсер ету аймағындағы ғимараттар). Қабылдағыштар 24/7 режимінде 1 Гц-тен 10 Гц-ке дейінгі жиілікпен жұмыс істейді.

2. Нақты уақыттағы RTK режимі (Real-Time Kinematic) - жергілікті базалық станцияны немесе CORS желісін қолдана отырып. Жоспарда 1–3 мм және биіктікте 3–5 мм дәлдікпен координаттарды жедел алуды қамтамасыз етеді.

3. PPP режимі (Precise Point Positioning) - базалық станцияны қажет етпейтін автономды жоғары дәлдікті режим. Қашықтағы немесе қолжетімсіз пункттер үшін қолданылады.

4. Кинематикалық және статикалық өлшеулер - мерзімдік науқандар мен метрополитен трассасын егжей-тегжейлі зерттеу үшін.

Бақылау пункттері арнайы маркалар мен терең реперлерден тұрады, олар ғимараттардың іргетастарына, көтергіш конструкцияларына және метро трассасы бойына тікелей бекітіледі.

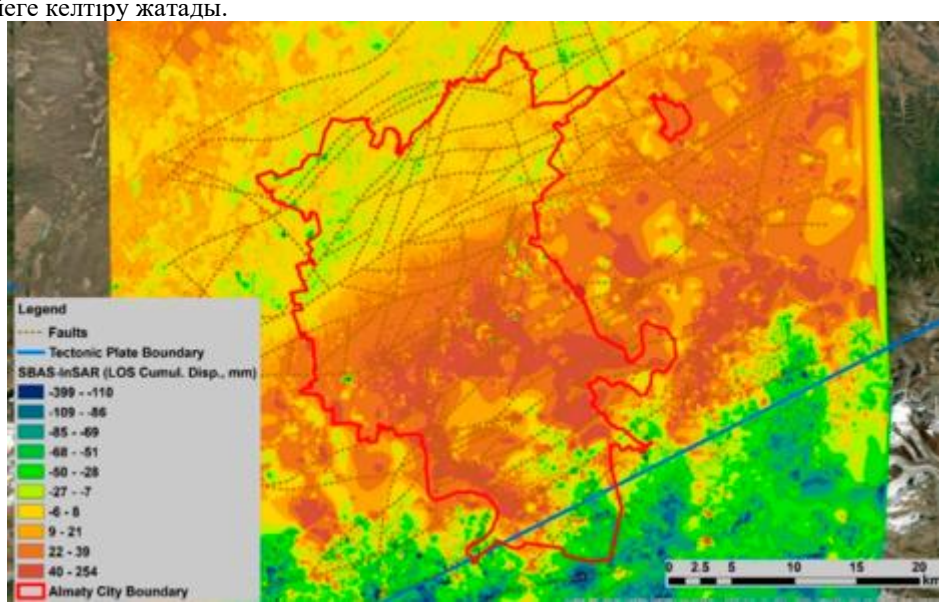
GNSS деректерін өңдеу арнайы бағдарламалық қамтамасыз етуде жүзеге асырылады (Trimble Business Center, Leica Infinity, Spectra Precision Survey Office, RTKLIB). Негізгі кезеңдерге алдын ала сүзгілеу, атмосфералық кешігулерді түзету, мультипуть әсерлерін компенсациялау, RLMD–SVD әдісімен уақыттық қатарларды шуылдан тазарту, желіні теңестіру және координаттарды бірыңғай жүйеге келтіру жатады.

Алматы метрополитені жағдайында GNSS-технологиялардың артықшылықтары: ауа райы мен сейсмикалық құбылыстарға толық тәуелсіздік, деректердің жоғары жиілігі мен үздіксіздігі, автоматты ескерту жүйелерімен интеграция мүмкіндігі, еңбек шығындарын айтарлықтай қысқарту (дәстүрлі әдістермен салыстырғанда 5–7 есе). Сонымен қатар GNSS Алматы және Есік-Ата жарылымдары бойындағы аймақтық тектоникалық қозғалыстарды бақылауға мүмкіндік береді.

Алынған GNSS деректері InSAR өңдеу нәтижелерін калибрлеу үшін жоғары дәлдікті «якорь» ретінде қызмет атқарады.

2.2 **Спутниктік радиолокациялық деректерді интерферометриялық өңдеу (InSAR)**

InSAR спутниктік деректері (Persistent Scatterer - PS-InSAR және Small Baseline Subset - SBAS-InSAR әдістері) әрбір объектіге жабдық орнатпай-ақ кең аумақта деформацияларды миллиметрлік дәлдікпен карталауға мүмкіндік береді. Өңдеу Sentinel-1 архивтік және жедел түсірілімдері бойынша жүргізіледі (3-сурет). Алматы жағдайында мұндай деректер аймақтық жарылымдар бойындағы тектоникалық қозғалыстарды, сондай-ақ метро құрылысы мен гидрогеологиялық режимнің өзгеруіне байланысты топырақтың шөгуін тиімді анықтайды.



3-сурет. Қалалық ортадағы деформацияларды мониторингтеу үшін спутниктік InSAR-деректерді өңдеу мысалы (Sentinel-1)

2.3 **GNSS және InSAR интеграциясы. Қосымша әдістер**

Технологияларды интеграциялау GNSS-ті InSAR-ды калибрлеу үшін жоғары дәлдікті тірек нүктелері ретінде пайдалануға, GNSS нүктелік деректерін InSAR-дың кеңістіктік қамтуымен біріктіруге, нақты уақыт режимінде деформациялардың толыққанды 3D-модельдерін құруға және тәуекелдерді жоғары сенімділікпен болжауға мүмкіндік береді. Қажет болған жағдайда әдістеме ауырлық күші өзгерістерін топырақтың шөгуімен байланыстыру үшін гравиметриялық өлшеулермен толықтырылады.

3. **Алматыдағы зерттеу жоспары**

Мониторинг метрополитеннің жұмыс істеп тұрған «Алатау» және «Сайран» станцияларын, сондай-ақ болашақ кеңейту желілерін қамтиды. GNSS-бақылауларын орнату және тұрақты циклдермен жүргізу, Sentinel-1 деректерін өңдеу, уақыттық қатарларды статистикалық талдау, 3D-модель-

дер құру және шекті мәндерден асқан жағдайда автоматты хабарлау алгоритмдерін әзірлеу қарастырылады.

Әдістемені іске асыру мыналарды қамтамасыз етеді:

• деформацияларды бақылаудың жеделдігі мен сенімділігін едәуір арттыру;

• дәстүрлі геодезиялық әдістермен салыстырғанда далалық жұмыстардың еңбек сыйымдылығы мен құнын 5–7 есе төмендету;

• «Алатау», «Сайран» станциялары және метрополитеннің барлық болашақ желілері үшін деформациялық процестердің бірыңғай цифрлық 3D-моделін құру;

• ГОСТ 24846–2013 талаптарына сәйкес шекті рұқсат етілген мәндерге жақындағанда жауапты қызметтерді автоматты түрде хабардар ету;

• ұқсас геологиялық және сейсмикалық жағдайлары бар Қазақстанның басқа ірі қалаларына жүйені масштабтау мүмкіндігі.

Ұзақ мерзімді перспективада GNSS-InSAR интеграциясын машиналық оқыту және жасанды интеллект әдістерімен үйлестіру үлкен деректер негізінде деформацияларды болжаудың жаңа мүмкіндіктерін ашады, бұл реактивті мониторингтен проактивті тәуекелдерді басқаруға көшуге мүмкіндік береді.

Осылайша, әзірленген әдістеме Алматы метрополитенінің өзекті қажеттіліктеріне жауап беріп қана қоймай, сонымен қатар критикалық инфрақұрылымды кешенді мониторингтеудің ұлттық жүйесін құруға негіз қалайды. Оны енгізу тұрғындардың қауіпсіздігін арттыруға, биік ғимараттардың сақталуына және Орталық Азиядағы ең сейсмикалық белсенді өңірлердің бірінде қалалық ортаның тұрақты дамуына ықпал етеді.

Қорытынды

Мақалада ұсынылған GNSS және InSAR негізіндегі деформацияларды мониторингтеудің интеграцияланған жүйесі Алматы метрополитенінің жерасты және жерүсті инфрақұрылымының қауіпсіздігін қамтамасыз ететін, қарқынды қала құрылысы мен өңірдің жоғары сейсмикалық белсенділігі жағдайында заманауи жоғары технологиялық құрал болып табылады.

GNSS өлшеулерінің нүктелік миллиметрлік дәлдігін InSAR-дың кең аумақты кеңістіктік қамтуымен біріктіру нақты уақыт режимінде құрылыстардың тік және көлденең орын ауыстыруларының толық әрі объективті көрінісін алуға мүмкіндік береді. Бұл әсіресе тоннель қазу, дірілдік жүктемелер, жерасты сулары деңгейінің өзгеруі және Алматы мен Есік-Ата жарылымдары бойындағы тектоникалық процестермен байланысты тәуекелдерді дер кезінде анықтау және болжау үшін маңызды.

Ұсынылған тәсілді енгізуді метрополитеннің қолданыстағы желілерін кеңейту кезеңінде-ақ жүзеге асыру ұсынылады, бұл Алматыдағы жерасты құрылыс жобаларының инженерлік қауіпсіздігі мен экономикалық тиімділігінің жоғары деңгейін қамтамасыз етеді.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Қалмұратов Б.Қ., Сапаров Қ.Т. Геодезиялық мониторинг және деформацияларды бақылау. – Алматы: Қазақ университеті, 2018. – 256 б.

2. Әбдірахманов Ә.А. Инженерлік геодезия. – Алматы: Бастау, 2016. – 312 б.

3. Сейтқазиев А.С., Нұрпейісов М.К. Құрылыстардың деформацияларын геодезиялық әдістермен бақылау. – Алматы: ҚазҰТЗУ, 2019. – 198 б.

4. Кожаев Ж.Т., Жумабаев Е.М. Спутниктік геодезия негіздері (GNSS технологиялары). – Алматы: Satbayev University, 2020. – 20 б.

5. Мадимарова Г.С., Мурсалимова Э.А., Шаймерденова А.А., Кадиркулов Н.А., Аугамбаев К.К. Фосфорит кен орындарының жерлерін мониторингтеу кезінде NDVI индексін пайдалану // «Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ хабаршысы» ғылыми журналы. – №3, 2023. – 88–96 бб. DOI: 10.51885/1561-4212_2023_3_88.

6. Мусин Ж.Қ. Инженерлік құрылыстардың сенімділігі және деформациясы. – Алматы: Ғылым, 2015. – 210 б.

7. Hanssen R.F. Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis. – Springer, 2005.

8. ESA (European Space Agency). Sentinel-1 User Guide. – 2023.

9. Hooper A. A multi-temporal InSAR method incorporating both persistent scatterer and small baseline approaches. – 2008.

SECTION OF HUMANITIES AND PHILOLOGY

ПРОБЛЕМЫ ИНКЛЮЗИВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В КАЗАХСТАНЕ: СОСТОЯНИЕ, БАРЬЕРЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

Апашова А.К.
докторант 1 курса
кафедра педагогики и психологии,
Казахский национальный педагогический университет имени Абая,
Алматы, Казахстан
Оралбекова А.К.
PhD, и.о. ассоциированного профессор,
университет им. Ж.А.Ташенева,
Шымкент, Казахстан
Калимолдаева А.К.
доктор педагогических наук,
кафедра педагогики и психологии,
Казахский национальный педагогический университет имени Абая,
Алматы, Казахстан

PROBLEMS OF INCLUSIVE EDUCATION IN KAZAKHSTAN: CURRENT STATE, BARRIERS, AND DIRECTIONS FOR DEVELOPMENT

Apashova A.
Abai Kazakh National Pedagogical University
Doctoral student
Department of Pedagogy and Psychology
Almaty, Kazakhstan
Oralbekova A.
PhD, Acting Associate Professor,
Zhanibek A. Tashenev University,
Shymkent, Kazakhstan
Kalimoldayeva A.
Abai Kazakh National Pedagogical University
Doctor of pedagogical sciences,
Department of Pedagogy and Psychology
Almaty, Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.20152729

Аннотация

Инклюзивное образование в Республике Казахстан за последние годы стало одним из ключевых направлений государственной образовательной и социальной политики. В стране сформирована нормативная база, закрепляющая право всех обучающихся на равный доступ к образованию с учетом особых образовательных потребностей, приняты специальные законодательные поправки, утверждена Концепция инклюзивной политики на 2025–2030 годы, расширяется сеть профильных организаций и кабинетов поддержки, внедряются механизмы психолого-педагогического сопровождения. Вместе с тем рост формальных показателей доступности не означает автоматического достижения подлинной образовательной инклюзии. Сохраняются противоречия между декларируемыми принципами равенства и фактическими условиями обучения детей с особыми образовательными потребностями, особенно в части качества сопровождения, кадровой обеспеченности, межведомственной координации, финансовой модели, доступности ассистивных технологий и преодоления сегрегационных практик. Официальные и международные аналитические материалы показывают, что при заметном расширении инфраструктуры многие дети продолжают обучаться в специальных школах, специальных классах или на дому, а система в ряде случаев остается ориентированной скорее на административный учет и физическую доступность, чем на академическое участие, социальную включенность и устойчивые образовательные результаты. Цель статьи — проанализировать ключевые проблемы инклюзивного образования в Казахстане и определить стратегические направления его дальнейшего развития. В статье использованы методы анализа нормативно-правовых актов, сравнительно-политического анализа, вторичного анализа статистических и аналитических материалов, а также проблемно-ориентированного синтеза международных и национальных оценок. Делается вывод, что следующий этап развития инклюзивного образования в Казахстане должен быть связан не столько с экстенсивным ростом инфраструктуры, сколько с качественной перестройкой педагогической практики, финансирования, подготовки кадров, мониторинга результатов и межсекторного сопровождения ребенка и семьи.

Abstract

Inclusive education in the Republic of Kazakhstan has become one of the key priorities of state educational and social policy in recent years. The country has established a regulatory framework that guarantees the right of all learners to equal access to education, taking into account special educational needs. Specific legislative amendments have been adopted, the Concept of Inclusive Policy for 2025–2030 has been approved, the network of specialized organizations and support centers has been expanded, and mechanisms of psychological and pedagogical support have been introduced.

At the same time, the growth of formal indicators of accessibility does not automatically ensure the achievement of genuine educational inclusion. Contradictions persist between the declared principles of equality and the actual learning conditions of children with special educational needs, particularly in terms of the quality of support, staffing, interagency coordination, financial models, availability of assistive technologies, and the elimination of segregative practices.

Official and international analytical reports indicate that, despite significant expansion of infrastructure, many children continue to be educated in special schools, special classes, or at home. In some cases, the system remains oriented more toward administrative reporting and physical accessibility than toward academic participation, social inclusion, and sustainable educational outcomes.

The aim of this article is to analyze the key challenges of inclusive education in Kazakhstan and to identify strategic directions for its further development. The study employs methods of legal and regulatory analysis, comparative policy analysis, secondary analysis of statistical and analytical data, as well as problem-oriented synthesis of international and national assessments.

It is concluded that the next stage in the development of inclusive education in Kazakhstan should focus not so much on the extensive expansion of infrastructure as on the qualitative transformation of pedagogical practices, financing mechanisms, teacher training, outcome monitoring, and intersectoral support for children and their families.

Ключевые слова: инклюзивное образование, Казахстан, особые образовательные потребности, дети с инвалидностью, психолого-педагогическое сопровождение, образовательная политика, доступность образования, педагогические кадры.

Keywords: inclusive education, Kazakhstan, special educational needs, children with disabilities, psychological and pedagogical support, educational policy, access to education, teaching staff.

Введение

Инклюзивное образование в современном мире рассматривается не как узкоспециализированный сегмент социальной помощи, а как фундаментальный принцип организации справедливой системы образования, в которой различия между детьми признаются нормой, а не исключением. С этой точки зрения инклюзия означает не простое присутствие ребенка с особыми образовательными потребностями в стенах обычной школы, а создание такой образовательной среды, где обеспечиваются участие, развитие, чувство принадлежности, академическая поддержка и уважение достоинства каждого обучающегося. Международная повестка, включая Конвенцию ООН о правах инвалидов и аналитические рамки UNICEF и UNESCO, исходит из того, что качество инклюзивного образования определяется способностью системы адаптироваться к разнообразию обучающихся, а не требованием к ребенку подстроиться под жестко заданную и изначально неравную среду. Для Казахстана этот подход особенно важен, поскольку страна сочетает высокий уровень нормативной активности с объективными территориальными, социальными и кадровыми вызовами, которые затрудняют практическую реализацию инклюзии [1].

В казахстанском законодательстве инклюзивное образование закреплено как процесс обеспечения равного доступа к образованию всех обучающихся с учетом особых образовательных потребностей и индивидуальных возможностей. Это определение присутствует и в Законе Республики Казахстан «Об образовании», и в государственных общеобязательных стандартах образования. Таким образом, правовая рамка прямо связывает инклюзию не только с доступом к учреждению, но и с учетом особенностей обучающегося. Важным политическим шагом стало принятие в 2021 году закона по вопросам инклюзивного образования, который усилил гарантии создания условий обучения, ввел механизмы психолого-педагогического сопровождения и оценки образовательных потребностей. Новый этап развития обозначила Концепция инклюзивной политики в Республике Казахстан на 2025–2030 годы, которая задает более широкий, межведомственный и правозащитный взгляд на проблему [1].

Однако практическая реализация инклюзии демонстрирует, что наличие законов и программ еще не гарантирует системного преодоления барьеров. По данным Министерства просвещения, на начало 2025 года в Казахстане насчитывалось 235 тысяч детей с особыми образовательными потребностями; при этом в 90 процентах школ были созданы условия для получения инклюзивного образования, а охват специальной психолого-педагогической поддержкой достиг 85 процентов. Уже по итогам 2025 года министерство сообщило, что 95,2 процента школ создали условия для обучения детей с особыми образовательными потребностями, а в инклюзивной среде обучались 94 527 детей. Эти цифры демонстрируют заметный прогресс в институциональном расширении системы. Но вместе с тем аналитические материалы UNICEF показывают, что в 2023 году в Казахстане были зарегистрированы 137 434 ребенка с инвалидностью в

возрасте 6–18 лет, а в 2023–2024 учебном году лишь 38 процентов из них обучались в организациях среднего образования. Такой разрыв между формальными показателями «создания условий» и фактическим охватом детей указывает на наличие более глубоких системных проблем [2].

Актуальность темы усиливается тем, что инклюзивное образование в Казахстане развивается в условиях одновременного воздействия нескольких факторов: демографического роста, урбанизации, региональной неравномерности, кадрового дефицита в отдельных территориях, ограниченности раннего вмешательства и сохраняющихся общественных стереотипов относительно инвалидности и «нормативного» ученика. UNICEF в аналитике по Казахстану подчеркивает отсутствие достаточного общего видения того, как именно продвигать и внедрять инклюзивное образование, а также указывает на устаревшую систему повышения квалификации педагогов и слабое качество мониторинга работы школ с обучающимися с особыми образовательными потребностями. OECD, в свою очередь, обращает внимание на переполненность городских школ, наличие трехсменного обучения и значительную долю малокомплектных сельских школ, испытывающих инфраструктурные и кадровые трудности. В такой ситуации инклюзия превращается в сложную задачу, требующую не только образовательной, но и социальной, финансовой и управленческой модернизации.

Цель настоящей статьи состоит в комплексном анализе основных проблем инклюзивного образования в Казахстане и обосновании направлений его дальнейшего развития. Для достижения этой цели рассматриваются нормативно-правовые основания инклюзии, текущее состояние системы, ключевые барьеры на институциональном, кадровом, инфраструктурном, финансовом и социокультурном уровнях, а также предлагаются стратегические ориентиры для перехода от формальной доступности к содержательной инклюзивности образовательной среды. В методологическом отношении статья носит аналитико-обзорный характер и опирается на вторичный анализ официальных документов Казахстана, материалов Министерства просвещения, аналитических докладов UNICEF, OECD, Всемирного банка и оценок органов системы ООН [3].

Современная нормативная база инклюзивного образования в Казахстане формировалась поэтапно. Базовым правовым основанием служит Закон Республики Казахстан «Об образовании», где инклюзивное образование определяется как процесс обеспечения равного доступа к образованию для всех с учетом особых образовательных потребностей и индивидуальных возможностей. Аналогичное понимание закреплено в государственных общеобязательных стандартах. С правовой точки зрения это означает, что инклюзия не сводится к медицинскому статусу ребенка или к принадлежности к отдельной категории, а предполагает адаптацию условий обучения в зависимости от образовательной ситуации конкретного ученика. Эта норма важна концептуально: она формирует переход от логики исключения и «исправления» к логике права на участие и поддержку [1].

Следующим значимым этапом стал закон 2021 года по вопросам инклюзивного образования. Официальные материалы Министерства просвещения подчеркивают, что этот закон усилил законодательную базу обеспечения качественного образования детей с особыми образовательными потребностями, закрепил гарантии создания условий обучения на всех уровнях системы, ввел механизмы психолого-педагогического сопровождения и оценки образовательных потребностей. Кроме того, была разработана трехуровневая модель психолого-педагогического сопровождения, а в типовые штаты организаций образования введены новые должности, обеспечивающие сопровождение и поддержку детей в процессе обучения. Это показывает, что государство предприняло попытку институционализировать инклюзию не только на уровне деклараций, но и на уровне организационной архитектуры школы и детского сада [4].

В 2025 году нормативная система получила дальнейшее развитие. В частности, были утверждены правила деятельности службы психолого-педагогического сопровождения в организациях образования, а также стандарт специальной психолого-педагогической поддержки детей с ограниченными возможностями. Появление этих документов важно не только само по себе, но и как индикатор смены фокуса: государство постепенно смещает внимание с общей риторики доступности к стандартизации реальных сервисов сопровождения. Одновременно в официальных правовых и политических документах закрепляется понятие специальной психолого-педагогической поддержки как комплекса услуг и мероприятий, направленных на восстановление или компенсацию ограничений и создание условий для обучения. Это означает, что казахстанская модель инклюзии становится более процедурно оформленной, однако степень ее фактической реализации зависит уже от ресурсов, кадров и управленческих механизмов на местах [5].

Принятие Концепции инклюзивной политики в Республике Казахстан на 2025–2030 годы стало еще более важным шагом, поскольку она расширяет рамку обсуждения за пределы собственно школы. Официальные сообщения указывают, что Концепция направлена на переход от медико-социальной к социально-правозащитной модели инвалидности. Такой поворот принципиален: он предполагает, что ключевая проблема заключается не только в особенностях развития ребенка, а в тех общественных, институциональных и инфраструктурных барьерах, которые мешают ему учиться, общаться и участвовать в жизни сообщества. Следовательно, инклюзивное образование в этой модели должно рассматриваться как часть общей инклюзивной политики государства, связанной с социальной защитой, здравоохранением, городской средой, цифровой доступностью и защитой прав ребенка [3].

В то же время наличие прогрессивной концептуальной рамки не снимает вопрос о разрыве между

правом и практикой. Международные правозащитные структуры отмечают, что, несмотря на законодательные шаги, реальная инклюзивность в Казахстане продвигается медленно. Комитет ООН по правам лиц с инвалидностью в 2024 году выразил обеспокоенность тем, что дети и взрослые с инвалидностью продолжают находиться в интернатных и полустационарных учреждениях и не имеют полноценного взаимодействия с сообществом и семьями. В аналитике UNICEF также отмечается, что значительная часть детей с особыми образовательными потребностями по-прежнему обучается в специальных школах, специальных классах или на дому. Это свидетельствует о том, что нормативная модернизация пока еще не полностью изменила институциональную логику системы, где элементы сегрегации продолжают сосуществовать с инклюзивной риторикой [6].

Состояние инклюзии в Казахстане необходимо рассматривать и в более широком контексте всей образовательной системы. OECD подчеркивает, что демографический рост и урбанизация усиливают нагрузку на школы: по состоянию на 2018 год более 6 процентов учеников обучались в трехсменных школах, а около 41 процента государственных школ представляли собой малокомплектные школы, в которых училось лишь 6 процентов всех учащихся. В городах проблема связана с переполненностью и ограниченностью пространства для индивидуальной поддержки, в сельской местности — с нехваткой кадров, слабой инфраструктурой и сложностью предоставления специализированных услуг. В таких условиях инклюзивное образование сталкивается не только со «своими» внутренними барьерами, но и с общими дисбалансами школьной сети [7-9].

Таким образом, современное состояние инклюзивного образования в Казахстане можно охарактеризовать как переходное. Система уже вышла из стадии точечных пилотов и отдельных деклараций; инклюзия стала предметом государственной политики, права, инфраструктурного планирования и цифровизации. Однако она еще не достигла стадии устойчивой качественной институционализации, когда каждый ребенок с особыми образовательными потребностями может рассчитывать на непрерывный маршрут поддержки — от раннего выявления и дошкольного уровня до школы, колледжа и профессиональной социализации — независимо от региона проживания, дохода семьи и готовности конкретной школы. Именно поэтому анализ проблем должен выходить за пределы количественных показателей и сосредотачиваться на качестве самой модели [10].

Первая и, возможно, центральная проблема заключается в том, что в управленческой практике инклюзия нередко измеряется через наличие «созданных условий», тогда как реальные образовательные результаты, участие и благополучие ребенка оказываются вторичными. Министерство просвещения сообщает о 90 процентах, а затем о 95,2 процента школ, создавших условия для обучения детей с особыми образовательными потребностями. Однако сами по себе такие показатели не раскрывают, какие именно условия созданы: идет ли речь о пандусах и документах, о наличии кабинета поддержки, о работе специалистов, о дифференциации учебных материалов, о тьюторском сопровождении, о поддержке одноклассников и семьи, о снижении стигмы и повышении успеваемости. UNICEF прямо указывает, что в Казахстане акцент долгое время делался прежде всего на улучшение физической доступности, особенно на дошкольном уровне, тогда как более широкие качественные изменения не всегда приносили явную пользу детям с особыми образовательными потребностями [2].

Это приводит к ситуации, когда школа может считаться «инклюзивной» по административным критериям, но не быть инклюзивной в педагогическом смысле. Ребенок может формально посещать обычный класс, но не получать адаптированных заданий, не участвовать в общем темпе урока, не иметь доступа к специальным технологиям, не быть включенным в коммуникацию со сверстниками и оставаться психологически изолированным. В таком случае инклюзия превращается в символический статус, а не в реальную практику. Отсюда возникает разрыв между отчетной логикой системы и реальным опытом семей и детей. Казахстанская политика сегодня стоит перед необходимостью перейти от количественной метрики «охвата» и «условий» к метрике участия, достижений, устойчивости образовательной траектории и удовлетворенности ребенка и семьи качеством поддержки.

Инклюзивное образование особенно чувствительно к пространственным неравенствам. Казахстан как большая страна с низкой плотностью населения и значительной долей сельских населенных пунктов сталкивается с проблемой территориальной доступности услуг. OECD подчеркивает, что универсальный доступ к образованию в таких условиях сопровождается формированием широкой сети малокомплектных сельских школ, испытывающих трудности с инфраструктурой и кадрами. Одновременно быстрый рост городов приводит к переполненности школ и трехсменному обучению. Для ребенка с особыми образовательными потребностями и его семьи обе ситуации проблемны: в сельской школе часто не хватает специалистов, в городской переполненной школе труднее организовать индивидуальную поддержку и безопасную, сенситивную образовательную среду [9].

Региональные различия проявляются и в неравномерности развития кабинетов поддержки, ресурсных центров, ПМПК, центров аутизма и программ сопровождения. Формальное наличие той или иной структуры в областной отчетности еще не гарантирует качество и устойчивость ее работы. Разница между регионами может касаться доступности транспорта, маршрута семьи до ближайшей консультации, очередей на диагностику, обеспеченности школ ассистивными средствами, стабильности кадров, готовности местных управлений образования и даже уровня общественного принятия

инклюзивной повестки. В этом смысле казахстанская проблема инклюзии — это не только проблема школы, но и проблема пространственной справедливости [8].

Особую роль начинает играть технологическое неравенство. UNICEF отмечает необходимость оснащения школ соответствующими ассистивными технологиями, которые помогают детям с особыми образовательными потребностями получать доступ к материалам и участвовать в учебной деятельности. Однако даже базовая цифровая готовность педагогов, как показывают опросы, остается неоднородной. В условиях, когда цифровизация образования рассматривается как способ расширения доступности, недостаток цифровой компетентности и специализированных средств может не сокращать, а усиливать неравенство. Для детей с нарушениями слуха, зрения, коммуникации, моторики или поведения доступ к технологии нередко является не дополнительным преимуществом, а условием самого участия в образовании.

Инклюзивное образование не может быть эффективным, если школа оказывается единственным институтом, на который возлагается вся ответственность за развитие ребенка. Многие трудности детей с особыми образовательными потребностями требуют согласованной работы систем образования, здравоохранения, социальной защиты, раннего вмешательства и поддержки семьи. Именно поэтому новая Концепция инклюзивной политики в Казахстане строится как межведомственная. Министерство просвещения также сообщало о подготовке законопроекта о комплексной поддержке детей с ограниченными возможностями, который должен объединить образовательные, медицинские и социальные услуги на основе координации между секторами. Сам факт разработки такого законопроекта показывает, что проблема фрагментарности поддержки признается на государственном уровне.

UNICEF в аналитике по Казахстану подчеркивает потребность в более эффективных горизонтальных и вертикальных механизмах координации между заинтересованными сторонами. Без этого семья часто вынуждена самостоятельно собирать маршрут помощи: проходить диагностику, искать специалистов, добиваться места в кабинете коррекции, объяснять школе потребности ребенка и одновременно справляться с психологической и материальной нагрузкой. Особенно болезненна эта проблема на ранних этапах развития, когда своевременное вмешательство имеет максимальный эффект. Недавний policy brief UNICEF по финансированию дошкольного образования в Казахстане также обращает внимание на сохраняющееся неравенство в доступе и качестве услуг для детей раннего возраста и рекомендует целевые механизмы финансирования, способные лучше поддерживать включение детей с разными потребностями.

Пока межведомственная координация остается недостаточной, школа нередко оказывается перед задачами, которые она не способна решить в одиночку. В результате инклюзия начинает зависеть от личной инициативы директора, учителя, психолога или родителей, а не от гарантированного маршрута государственной поддержки. Это делает систему уязвимой и неравной: в одних случаях ребенок получает своевременную помощь, в других — теряет годы развития, выпадает из общения со сверстниками и попадает на сегрегированный маршрут. Поэтому проблема координации — это не второстепенный организационный вопрос, а один из системообразующих факторов качества инклюзивного образования.

Еще одним важным барьером выступает финансовая модель. Международные материалы по Казахстану показывают, что сама по себе общая экспансия охвата не гарантирует справедливого распределения ресурсов между детьми, регионами и типами учреждений. UNICEF в policy brief 2026 года по дошкольному образованию в Казахстане подчеркивает, что, несмотря на впечатляющий рост охвата, сохраняются неравенства в доступе и качестве, а действующие механизмы подушевого финансирования и ваучеризации требуют донастройки для повышения справедливости, инклюзивности и качества. Среди рекомендаций названы целевые механизмы финансирования, дифференцированные субсидии и стимулы, связанные с качеством услуг. Хотя речь идет прежде всего о дошкольном секторе, выводы непосредственно важны и для всей инклюзивной системы.

UNICEF SitAn дополнительно отмечает, что в Казахстане распределение ресурсов для детей с особыми образовательными потребностями в значительной мере ориентировано на надомное обучение, тогда как для реальной инклюзии требуются более эффективные инвестиции в школьное лидерство, педагогику, координацию и ассистивные технологии. Это указывает на структурную проблему: ресурсы могут быть значительными, но если они исторически направлены на поддержание компенсаторных и изолирующих форм, они не создают трансформационного эффекта для массовой школы. Казахстану нужна такая система финансирования, которая будет «следовать» не за категорией учреждения, а за образовательными потребностями ребенка и задачей его включения в общую среду.

Инклюзивная политика требует качественных данных. Но сегодня в Казахстане сохраняется проблема неполной сопоставимости статистики, разнородности индикаторов и ограниченности данных о фактическом положении детей с особыми образовательными потребностями в образовательной системе. UNICEF отмечает нехватку более детализированных описательных данных о детях с инвалидностью и обучающихся с особыми образовательными потребностями в организациях образования. Когда система в основном фиксирует инфраструктурные показатели или административные категории, ей сложно оценить реальные результаты: удержание в школе, успеваемость, участие в жизни класса, переходы между уровнями образования, удовлетворенность семьи, степень социальной включенности и риски выпадения.

Проблема мониторинга тесно связана с управленческой культурой. В UNICEF SitAn отмечается, что планирование и реализация инклюзивной политики в Казахстане в значительной степени осуществлялись сверху вниз. При этом одним из условий подлинно инклюзивного подхода названы партнерства между школами, учителями, родителями и самими детьми, а также расширение прав и возможностей участников в разработке изменений. Иначе говоря, речь идет не только о нехватке данных, но и о недостаточном участии тех, кто непосредственно проживает опыт инклюзии. Без голоса семей и детей система рискует ориентироваться на собственную отчетность, а не на реальные образовательные потребности.

Семья в инклюзивном образовании должна рассматриваться не как пассивный получатель услуг и не как источник проблем, а как равноправный партнер. Однако если родители сталкиваются с очередями, сложным маршрутом получения поддержки, недостатком информации, недоверием школы или скрытым давлением в пользу надомного или специального обучения, то даже хорошая правовая база не обеспечивает инклюзивного результата. Поэтому развитие системы мониторинга должно включать механизмы обратной связи, независимой оценки и регулярного изучения опыта семей. Это особенно важно для раннего выявления скрытых форм исключения, когда ребенок формально числится в школе, но фактически не включен в образовательный процесс.

Наконец, нельзя недооценивать социокультурное измерение инклюзии. Даже при наличии законов, специалистов и кабинетов поддержки школа не станет инклюзивной, если в ней сохраняются стигма, настороженность по отношению к инвалидности, дефицитарное восприятие ребенка и ожидание, что «особый» ученик должен учиться отдельно, чтобы не мешать «основному» классу. UNICEF на региональном уровне указывает, что стигма и предубеждения по поводу инвалидности продолжают приводить к исключению детей, а негативные установки могут мешать семьям обращаться за помощью и информацией. Для Казахстана этот фактор также значим: сам переход к социально-правозащитной модели инвалидности был инициирован в том числе под влиянием международных рекомендаций и необходимости преодоления устаревших представлений [11].

Социокультурные барьеры проявляются на разных уровнях: в ожиданиях родителей детей без инвалидности, в неготовности части педагогов менять привычную практику, в осторожности администраций школ, в языке описания ребенка и в скрытой дискриминации, когда его участие в школьной жизни ограничивается «из заботы» или ради сохранения внешнего порядка. Поэтому инклюзия — это не только административная реформа, но и культурная трансформация. Она требует воспитания эмпатии, диалога, уважения к различию и понимания, что разнообразие класса не снижает качество образования, а создает возможность для более человечной и современной педагогики. Без такой культурной базы любые нормативные и финансовые меры будут оставаться частично внешними по отношению к реальной школьной жизни.

Организация и методика исследования

Для подтверждения теоретических выводов и выявления реального состояния инклюзивного образования в школах Казахстана было проведено эмпирическое исследование. Целью экспериментальной части являлось изучение уровня готовности педагогов к реализации принципов инклюзивного образования, выявление основных практических трудностей в работе с детьми с особыми образовательными потребностями, а также анализ эффективности существующих механизмов психолого-педагогического сопровождения.

Исследование проводилось в 2024–2025 учебном году на базе общеобразовательных школ города Шымкент и Туркестанской области. В эксперименте приняли участие **126 педагогов**, **18 школьных психологов и дефектологов**, а также **42 родителя детей с особыми образовательными потребностями**. В исследовании участвовали школы, в которых официально внедрена модель инклюзивного обучения и функционируют кабинеты психолого-педагогической поддержки.

Методический инструментарий исследования включал следующие методы: анкетирование педагогов; интервью с родителями и специалистами сопровождения; анализ школьной документации и индивидуальных образовательных маршрутов; наблюдение за учебным процессом; статистическую обработку полученных данных.

Анкета для педагогов содержала 25 вопросов, направленных на выявление уровня знаний об инклюзивном образовании, практических навыков дифференциации обучения, опыта работы с детьми с особыми образовательными потребностями, а также оценки эффективности существующих механизмов поддержки.

Исследование проводилось в три этапа.

Первый этап — диагностический.На данном этапе осуществлялся сбор первичных данных посредством анкетирования и интервью.

Второй этап — аналитический.Полученные данные были обработаны с использованием методов описательной статистики и сравнительного анализа.

Третий этап — интерпретационный.На основе результатов исследования были выявлены ключевые барьеры внедрения инклюзивного образования и определены направления совершенствования образовательной практики.

Результаты исследования

Результаты анкетирования педагогов показали, что уровень теоретического понимания инклюзивного образования достаточно высок. Так, **82% опрошенных учителей** отметили, что знакомы с основными принципами инклюзивного образования и нормативными документами, регулирующими его внедрение.

Однако анализ практической готовности педагогов выявил ряд существенных проблем. Только **41% респондентов** указали, что обладают достаточными методическими навыками для организации обучения детей с особыми образовательными потребностями в условиях обычного класса. Еще **37% учителей** отметили, что испытывают трудности при адаптации учебных заданий и оценивании результатов обучения таких учащихся.

Одной из наиболее распространенных проблем, выявленных в ходе исследования, является недостаток специальных педагогических компетенций. Более **64% педагогов** указали на необходимость дополнительного профессионального обучения в области инклюзивной педагогики, включая методы дифференцированного обучения, универсальный дизайн обучения и использование ассистивных технологий.

Анализ интервью с родителями показал, что большинство семей положительно оценивают возможность обучения детей в общеобразовательной школе. **71% родителей** отметили улучшение социальных навыков ребенка благодаря обучению в инклюзивной среде. Дети чаще взаимодействуют со сверстниками, участвуют в школьных мероприятиях и демонстрируют более высокий уровень социальной адаптации.

Вместе с тем родители указали на ряд проблем: недостаточную индивидуализацию образовательных программ; нехватку специалистов сопровождения; перегруженность учителей; недостаточную информированность педагогов о специфике отдельных нарушений развития.

Наблюдение за образовательным процессом показало, что в большинстве школ инклюзивное обучение реализуется преимущественно на уровне организационных условий. Например, школы оборудованы пандусами, функционируют кабинеты поддержки, однако адаптация учебного процесса осуществляется не системно.

Особенно заметной проблемой является **ограниченное использование ассистивных и цифровых технологий,** которые могли бы значительно расширить возможности участия детей с особыми образовательными потребностями в учебной деятельности.

Обсуждение результатов

Полученные результаты подтверждают выводы международных исследований, согласно которым основная проблема развития инклюзивного образования заключается не столько в создании инфраструктуры, сколько в трансформации педагогической практики.

С одной стороны, казахстанская образовательная система демонстрирует значительный прогресс в институциональном развитии инклюзии. Школы постепенно оснащаются необходимой инфраструктурой, расширяется сеть кабинетов психолого-педагогической поддержки, вводятся новые должности специалистов сопровождения.

С другой стороны, результаты исследования показывают, что **ключевым фактором эффективности инклюзивного образования остается профессиональная готовность педагогов.** Без системной подготовки учителей и постоянного методического сопровождения даже хорошо оснащенная школа не способна обеспечить полноценное участие детей с особыми образовательными потребностями в образовательном процессе.

Особую значимость приобретает развитие командной модели сопровождения, предполагающей сотрудничество педагогов, психологов, дефектологов и родителей. Практика показывает, что именно междисциплинарный подход позволяет наиболее эффективно решать образовательные и социальные задачи инклюзии.

Результаты исследования также подтверждают необходимость дальнейшего развития системы повышения квалификации педагогов. Учителя нуждаются не только в теоретических знаниях, но и в практических инструментах организации инклюзивного урока, адаптации учебных материалов и оценки достижений учащихся.

Заключение

Инклюзивное образование в Казахстане прошло значительный путь от периферийной темы к одному из приоритетных направлений государственной политики. Законодательство закрепило принцип равного доступа к образованию с учетом особых образовательных потребностей; в 2021 году была усилена правовая база, в 2025 году приняты новые стандарты и правила сопровождения, а Концепция инклюзивной политики на 2025–2030 годы обозначила более широкий межведомственный и правозащитный подход. Министерство просвещения фиксирует рост числа профильных организаций, кабинетов поддержки и школ, создавших условия для инклюзии. Эти изменения свидетельствуют о высокой степени институционального внимания к проблеме.

Но вместе с тем анализ показывает, что главные трудности сместились с уровня «признания проблемы» на уровень качества реализации. Основные барьеры заключаются в подмене содержательной инклюзии формальной доступностью, в сохранении сегрегационных маршрутов, в недостаточной подготовке педагогов, кадровой нестабильности, региональных и инфраструктурных неравенствах, фрагментарности межведомственной поддержки, несовершенстве финансирования, слабости данных и мониторинга, а также в сохраняющихся социокультурных стереотипах. Международные оценки UNICEF, OECD и органов ООН подтверждают, что казахстанская система все еще находится в переходной фазе, когда прогрессивная нормативная база сосуществует с практиками исключения и неравномерным качеством услуг.

Следовательно, перспективы дальнейшего развития инклюзивного образования в Казахстане связаны прежде всего с его качественной трансформацией. Следующий этап реформ должен быть направлен на то, чтобы инклюзия измерялась не количеством созданных кабинетов, а реальным уча-

стием ребенка в жизни школы; не наличием должности специалиста, а результативностью команды сопровождения; не общими подушевыми нормативами, а справедливым финансированием потребностей; не внешней отчетностью, а благополучием и продвижением ребенка. Только при таком подходе инклюзивное образование сможет стать не специальным направлением для отдельных категорий, а принципом организации всей образовательной системы Казахстанат [10].

Список литературы

1. Закон Республики Казахстан «Об образовании». ИПС «Әділет». ([Adilet][1])

2. Государственные общеобязательные стандарты образования Республики Казахстан. ИПС «Әділет».

3. Закон Республики Казахстан от 26 июня 2021 года по вопросам инклюзивного образования. ИПС «Әділет».

4. Об утверждении Концепции инклюзивной политики в Республике Казахстан на 2025–2030 годы. ИПС «Әділет».

5. Министерство просвещения Республики Казахстан. Материалы о развитии инклюзивного образования за 2025 год.

6. UNICEF Kazakhstan. Evidence on Inclusive Education in Kazakhstan based on a Formative and a Big Data Evaluation. 2024.

7. UNICEF Kazakhstan. Situation Analysis of Children and Adolescents in Kazakhstan: 2024. 2025.

8. UNICEF Kazakhstan. Pathways to Equitable and Inclusive Early Childhood Education and Care Financing in Kazakhstan. 2026.

9. UNICEF Kazakhstan и Astana Hub. Материалы о цифровом инклюзивном обучении педагогов.

10. OECD. Raising the Quality of Initial Teacher Education and Support for Early Career Teachers in Kazakhstan.

11. OECD. Developing a National Assessment that Supports Kazakhstan’s Education Goals.

12. OHCHR. Concluding observations and press materials Комитета ООН по правам лиц с инвалидностью по Казахстану. 2024.

13. Всемирный банк. Education Modernization Project (Kazakhstan). Материалы по модернизации педагогического образования и инклюзивной модели.

EXAMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN DIGITAL COMPETENCE AND ENGLISH LANGUAGE PROFICIENCY AMONG UNIVERSITY STUDENTS

Bulgantamir Damchaa,
Oyun-Erdene Erdenebileg
Mandakh University, Department of Foreign Languages
Dalaisaikhan Natsagdorj
Mandakh University, Department of Science and Engineering
DOI: 10.5281/zenodo.20152742

Abstract

Globally, information and communication technologies (ICT) is now embedded in everyday life worldwide, including education, work, leisure, civic engagement, and social interaction. As digital access and tools continue to expand, digital literacy competencies have become increasingly essential. This study examines the relationship between university students' digital competence and English language proficiency. Using an internationally informed framework, digital competence was assessed across five dimensions: information and data literacy, communication and collaboration, digital content creation, digital safety, and artificial intelligence and digital ethics. Data were collected from 357 Mandakh University students through a self-assessment questionnaire administered via Microsoft Forms. Factor and regression analyses were used to validate the dimensions and identify influencing factors. The findings show that students' overall digital competence was moderate to good, with an average score of 3.82. Communication and collaboration was the strongest dimension, while digital safety was the weakest. Regression results confirmed that English proficiency and information technology experience significantly influenced all five dimensions of digital competence. However, many students reported difficulty understanding English-language software instructions, learning materials, and online resources. The study suggests that improving English proficiency and increasing practical technology experience can strengthen students' overall digital competence.

Keywords: digital literacy practices; usages of English language, tertiary students.

Introduction

As technology continues to advance rapidly, evaluating the extent to which students are prepared for learning, employment, and daily life in a digital environment has become increasingly important. The growing need to assess citizens' ICT-related competencies in an increasingly digital world is reflected in global and regional policy frameworks. For example, the United Nations Sustainable Development Goals include measures of youth and adults' ICT skills under Indicator 4.4.1 (UN, 2017), while digital competence is recognized as one of the eight key competencies for lifelong learning in the European framework. According to the report "An International Perspective on Digital Literacy", preparing students to use ICT in the workplace and promoting the responsible, ethical, and safe use of digital devices, including cyber-safety, were frequently and explicitly reflected in national plans and policies, appearing in 25 countries (2023). Digital competence refers to the ability to use emerging technologies effectively and purposefully in various areas of life, including learning, work, and leisure. It includes not only the necessary skills and knowledge, but also responsible, active participation in digital environments. Digital competence, as defined in DigComp 2.2, involves the confident, critical, and responsible use of digital technologies for learning, work, and social participation. It includes five areas: information and data literacy, communication and collaboration, digital content creation, safety, and problem-solving. Previous studies show that digital competence supports students' learning engagement, academic performance, and research skills; however, research has mainly focused on overall digital competence, with limited attention to digital learning competence in specific educational contexts. Digital proficiency can significantly enhance language teaching and learning by providing students with access to authentic language materials, interactive activities, and opportunities for communication and collaboration with native speakers and peers. Furthermore, integrating digital competence into language instruction enables teachers to design more personalized, learner-centered experiences that address students' individual needs, interests, and learning goals (Jiafan Cao 1, 2023).

Second language (L2) digital literacy refers to a complex and integrated set of cognitive and technical skills that enables individuals to access, understand, evaluate, and reinterpret online information accurately in order to construct new knowledge. More importantly, it involves the ability to navigate digital environments, locate relevant information, communicate effectively, and critically evaluate and synthesize information presented in multiple formats and language-specific texts. However, students' L2 digital literacy skills have received limited attention and are often treated as if they are already established. The rapid growth of digital resources and the increasing use of digital libraries have become important supports for second language acquisition (SLA), encouraging EFL students to move beyond traditional paper-based materials and engage more actively with digital formats (Alsmari, 2021). In terms of the theoretical framework, task–technology fit (TTF) explains technology adoption through the alignment between task requirements and technological capabilities. Developed by Goodhue and Thompson (1995), the model suggests that effective outcomes occur when technology supports the intended learning tasks and meets users' needs (Jimmy K. N. Macharia, 2026).

Literature review

The IEA's International Computer and Information Literacy Study 2023 (ICILS 2023) examined students' ability to use information and communication technology (ICT) effectively for various purposes beyond basic use. Building on the 2013 and 2018 cycles, it tracks the development of digital literacy skills over time and explores the contexts that influence students' learning and achievement (2023). Nuha Abdullah Alsmari investigated the relationship between EFL students' second language (L2) digital literacy skills and strategies, their self-efficacy, and their English proficiency levels. The study involved 93 Saudi undergraduate students majoring in English at Prince Sattam bin Abdulaziz University. Participants were surveyed to examine both their level of English proficiency and their perceived ability to use three major domains of digital literacy skills. This study is relevant because it highlights the role of digital literacy as an important factor in EFL learning and suggests that students' confidence in using digital tools may be connected to their language development (Alsmari, 2021). Alec I. Kennedy (Alec I. Kennedy, 2023) and colleagues reported that, in most countries, students with an immigrant background scored significantly lower in both computer and information literacy (CIL) and computational thinking (CT) than their non-immigrant peers. In contrast, students who usually spoke the language of the assessment at home tended to achieve significantly higher scores in both CIL and CT across the majority of countries. Yafeng Song (2025) found that digital learning competence positively influenced undergraduates' academic achievement, based on data from 312 students. The study also reported higher achievement among male students, senior students, and students from key universities, with digital learning evaluation competence emerging as a significant positive predictor of academic performance. (Ling (Angela) Xia1, 2024) stated that the transition to university is particularly demanding for students in English-medium instruction (EMI) settings, where academic work is conducted in a second language. Although ICT competence has been widely linked to academic success, less attention has been given to its relationship with language proficiency. A study of 1,742 first-year students at an EMI university in East China found that prior EMI experience and higher English proficiency were associated with stronger ICT competence, highlighting the need for targeted support to help students develop both language and digital skills. (Putri Elia Angguni, 2026) explained that the digital literacy is increasingly important for EFL students in higher education, particularly in supporting academic writing. In their study of 66 postgraduate students at Yogyakarta State University found a very strong positive correlation between digital literacy and perceived academic writing ability ($r = 0.985$, $p < 0.001$), suggesting that stronger digital skills may enhance students' writing confidence and academic performance. Moreover, Researcher Yulian Dinihari and others (2026) examined how digital literacy and Indonesian language proficiency influence social media use. Their findings showed that higher digital literacy was linked to more critical, self-regulated, and ethical online behavior, while stronger language proficiency supported clearer, more polite, and context-sensitive digital communication.

Research Aim

This study aims to assess students' level of digital competence using an internationally recognized framework to determine statistically how English language proficiency influences digital competence, and to identify the relationship between these two variables.

Research Objectives

The study seeks to evaluate students' digital competence across five internationally aligned dimensions and to empirically examine the factors that influence these competences, with particular emphasis on the role of English language proficiency. The specific objectives are to:

· assess students' competence levels in each dimension of digital competence;

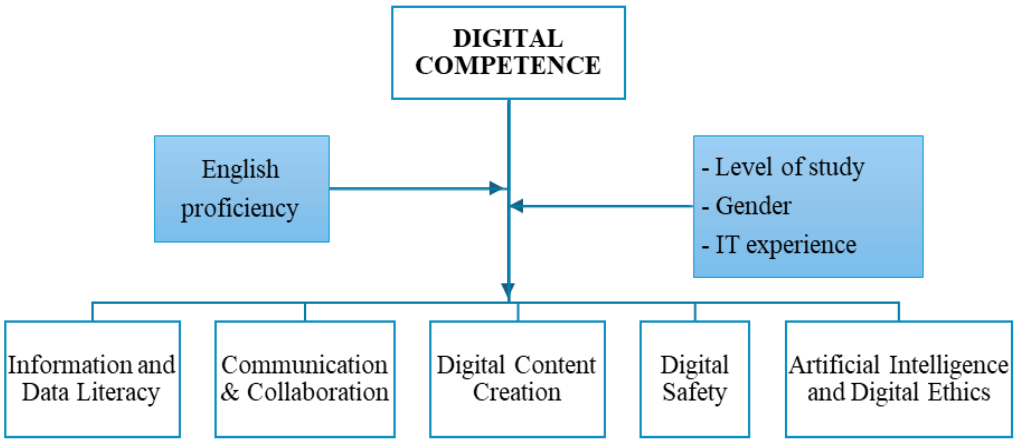
· identify, through statistical analysis, the factors that influence each dimension;

· examine the relationships among the selected variables and determine the strength of their influence.

Research Methodology

The questionnaire was developed and administered through Microsoft Forms. Using random sampling, data were collected from 357 students at Mandakh University.

Research Design



Based on the theoretical framework discussed above, the research design of this study is structured as follows. In accordance with the research design, five sub-variables representing students' digital competence were identified based on international frameworks. These sub-variables were developed within a mixed theoretical framework informed by internationally recognized models, particularly DigComp 2.2 and the UNESCO ICT Competency Framework for Teachers (ICT-CFT). Gender, year of study, and information technology experience were included as control variables to examine potential group differences and relationships, as well as to determine the influence of English language proficiency on students' digital competence. The questionnaire items used to measure the research variables were adapted from validated instruments proposed in previous international studies. Participants completed the survey through self-assessment, and their responses were measured using a five-point Likert scale ranging from 1 to 5. After the data were organized and cleaned, factor analysis was conducted to examine the underlying structure of the variables. Regression analysis was then performed to identify the relationships between the independent and dependent variables and to determine the extent to which the selected factors influenced students' digital competence.

Research results

This study involved **357 undergraduate students, ranging from freshmen to seniors, at Mandakh University**. The demographic characteristics of the participants are presented below.

Table 1

Demographic information

№		Students' year	Participants	Percentage
1	Level of study	1st year	159	44.5%
		2nd year	48	13.4%
		3rd year	88	24.6%
		4th year	62	17.4%
2	Gender	Male	104	29.1%
		Female	253	70.9%

Before conducting factor analysis, the reliability of the survey instrument was examined. Prior to the main data collection, a pre-test was also conducted to improve the clarity, quality, and validity of the questionnaire. Regarding the applications used to overcome language barriers when students' English proficiency is insufficient for using digital devices, software, or online environments, 41% of respondents reported using Google Translate, while another 41% reported using ChatGPT. In comparison, 7% indicated that they used dictionaries for this purpose.

In terms of students' online activities, half of the respondents reported spending most of their time on social networking platforms such as Facebook and Instagram. This was followed by coursework and research-related activities at 23%, communication with friends through chat at 13%, watching videos on platforms such as YouTube at 11%, and playing online games at 3%. With respect to AI chatbot use, ChatGPT was the most frequently used application, reported by 85% of respondents. Gemini AI was used by 10%, while the remaining 5% reported using other AI chatbot applications.

Factor Analysis Results

Table 2

KMO and Barlett's test

KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.959
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	5982.427
	df	300
	Sig.	.000

A KMO value of 0.959 demonstrates that the data have excellent suitability for factor analysis. Moreover, the significance value (Sig. = 0.000, $p < 0.05$) indicates that the result is statistically significant. Factor analysis was conducted for each of the five variables designed to measure students' current level of digital competence. Across the five factors, all questionnaire items demonstrated factor loadings above 0.60, while the KMO values exceeded 0.70. These results indicate that the sample was adequate and that the data were appropriate for factor analysis.

The Cronbach's alpha coefficients ranged from 0.829 to 0.905, indicating strong internal consistency and reliability among the items within each variable. Taken together, the factor analysis results suggest that the questionnaire was statistically reliable and demonstrated a high level of construct validity and internal consistency.

To further examine students' digital competence, the mean scores for each of the five dimensions were calculated. The results are presented below:

Table 3

Students' digital competence according to 5 dimensions

Statistics	Information and Data Literacy	Communication and Collaboration	Digital Content Creation	Digital Safety	Artificial Intelligence and Digital Ethics
Valid N	357	357	357	357	357
Missing	0	0	0	0	0
Mean	3.7780	3.9797	3.7417	3.7348	3.8599

The descriptive statistics show that all five dimensions of digital competence had valid responses from 357 participants, with no missing data. Among the five dimensions, Communication and Collaboration had the highest mean score (M = 3.9797), followed by Artificial Intelligence and Digital Ethics (M = 3.8599) and Information and Data Literacy (M = 3.7780). Meanwhile, Digital Content Creation (M = 3.7417) and Digital Safety (M = 3.7348) showed comparatively lower mean scores. These results suggest that students demonstrated relatively stronger competence in communication and collaboration, while digital safety and digital content creation may require further development.

Regression Analysis

Digital competence was analyzed across five sub-dimensions: information and data literacy, communication and collaboration, digital content creation, digital safety, and artificial intelligence and digital ethics. For each sub-dimension, dummy variables were created for the selected influencing factors, and regression analysis was conducted using the least squares method. The purpose of this analysis was to determine which factors significantly influence each dimension of students' digital competence and to examine the explanatory power of these variables.

1. Factors Influencing Information and Data Literacy

Table 4

Factors Influencing Information and Data Literacy

No.	Regression analysis	**Beta**	**t**	**Sig.**	**F**	**R^2**	**Result**
1	Year/level of study →	0.028	0.742	0.459	91.839	0.505	Rejected
2	Gender →	0.090	2.401	0.017	91.839	0.505	Supported
3	English language proficiency →	0.146	3.840	0.000	91.839	0.505	Supported

The regression results show that the overall model was statistically significant, with an F-value of 91.839 and an R^2 value of 0.505. This indicates that the selected variables accounted for 50.5% of the variance in students' information and data literacy.

Among the predictors, students' year/level of study did not have a statistically significant effect on information and data literacy ($\beta = 0.028$, $p = 0.459$). Therefore, this factor was rejected. In contrast, gender ($\beta = 0.090$, $p = 0.017$), English language proficiency ($\beta = 0.146$, $p = 0.000$), and IT experience ($\beta = 0.672$, $p = 0.000$) were found to have statistically significant effects.

Among these factors, IT experience had the strongest influence on students' information and data literacy, as shown by the highest beta coefficient ($\beta = 0.672$). This suggests that students with greater experience in using information technology are more likely to demonstrate stronger competence in searching, evaluating, managing, and using digital information. English language proficiency also had a positive influence, indicating that students with better English skills may be better able to access and understand digital information, particularly in English-based online environments.

2. Factors Influencing Communication and Collaboration Skills

Table 5

Factors Influencing Communication and Collaboration Skills

No.	Regression analysis	**Beta**	**t**	**Sig.**	**F**	**R^2**	**Result**
1	Year/level of study →	-0.092	-2.101	0.459	44.112	0.326	Supported
2	Gender →	-0.008	-0.178	0.017	44.112	0.326	Rejected
3	English language proficiency →	0.204	4.584	0.000	44.112	0.326	Supported
4	IT experience →	0.505	11.315	0.000	44.112	0.326	Supported

The regression results show that the overall model was statistically significant, with an F-value of 44.112 and an R^2 value of 0.326. This means that the selected variables accounted for 32.6% of the variance in students' communication and collaboration skills.

Among the predictors, gender did not have a significant influence on communication and collaboration skills. Therefore, this factor was rejected.

In contrast, year/level of study, English language proficiency, and IT experience were found to have significant effects. Among these, IT experience had the strongest positive influence ($\beta = 0.505$, $p = 0.000$), indicating that students with more experience in using information technology tend to demonstrate stronger communication and collaboration skills in digital environments.

English language proficiency also had a positive effect ($\beta = 0.204$, $p = 0.000$), suggesting that students

with higher English proficiency may communicate and collaborate more effectively through digital tools. Year/level of study showed a negative coefficient (β = -0.092), which suggests that higher-year students may show slightly lower communication and collaboration scores compared with lower-year students, depending on how the variable was coded.

3. Factors Influencing Digital Content Creation Skills

Table 6

Factors Influencing Digital Content Creation Skills

No.	Regression analysis	Beta	t	Sig.	F	R^2	Result
1	Year/level of study →	0.057	1.495	0.136	85.765	0.488	Rejected
2	Gender →	0.090	2.345	0.020	85.765	0.488	Supported
3	English language proficiency →	0.098	2.542	0.011	85.765	0.488	Supported
4	IT experience →	0.672	17.275	0.000	85.765	0.488	Supported

The regression results indicate that the overall model was statistically significant, with an F-value of 85.765 and an R^2 value of 0.488. This means that the selected variables accounted for 48.8% of the variance in students' digital content creation skills. Students' year/level of study did not have a statistically significant effect on digital content creation skills (β = 0.057, p = 0.136). Therefore, this factor was rejected.

In contrast, gender (β = 0.090, p = 0.020), English language proficiency (β = 0.098, p = 0.011), and IT experience (β = 0.672, p = 0.000) were found to have significant effects. Among these factors, IT experience had the strongest influence, as shown by the highest beta coefficient. This suggests that students with greater information technology experience are more likely to demonstrate stronger skills in creating digital content.

4. Factors Influencing Digital Safety Skills

Table 7

Factors Influencing Digital Safety Skills

No.	Regression analysis	Beta	t	Sig.	F	R^2	Interpretation
1	Year of study →	-0.042	-0.977	0.329	46.511	0.338[a]	Rejected
2	Gender →	0.123	2.840	0.005	46.511	0.338[a]	Supported
3	English language proficiency →	0.146	3.309	0.001	46.511	0.338[a]	Supported
4	ICT experience →	0.542	12.247	0.000	46.511	0.338[a]	Supported

The regression results show that the overall model was statistically significant, with an F-value of 46.511 and an R^2 value of 0.338. This indicates that the selected variables accounted for 33.8% of the variance in students' digital safety skills.

Students' year/level of study did not have a statistically significant effect on digital safety skills (β = -0.042, p = 0.329), so this factor was rejected. In contrast, gender (β = 0.123, p = 0.005), English language proficiency (β = 0.146, p = 0.001), and IT experience (β = 0.542, p = 0.000) had statistically significant effects.

Among these predictors, IT experience had the strongest influence on digital safety skills. This suggests that students with greater experience in using information technology are more likely to demonstrate stronger awareness and ability in protecting personal data, using digital tools safely, and managing risks in online environments.

5. Factors Influencing Artificial Intelligence and Digital Ethics Skills

Table 8

Factors Influencing Artificial Intelligence and Digital Ethics Skills

No.	Regression analysis	Beta	t	Sig.	F	R^2	Result
1	Year/level of study →	-0.056	-1.261	0.208	40.319	0.306	Rejected
2	Gender →	0.069	1.549	0.122	40.319	0.306	Rejected
3	English language proficiency →	0.160	3.552	0.000	40.319	0.306	Supported
4	IT experience →	0.511	11.294	0.000	40.319	0.306	Supported

The regression results show that the overall model was statistically significant, with an F-value of 40.319 and an R^2 value of 0.306. This indicates that the selected variables accounted for 30.6% of the variance in students' artificial intelligence and digital ethics skills.

Students' year/level of study (β = -0.056, p = 0.208) and gender (β = 0.069, p = 0.122) did not have statistically significant effects; therefore, these factors were rejected. In contrast, English language proficiency (β = 0.160, p = 0.000) and IT experience (β = 0.511, p = 0.000) were found to have significant positive effects.

Among the predictors, IT experience had the strongest influence, suggesting that students with greater experience in using information technology are more likely to demonstrate stronger competence in using AI tools responsibly and understanding digital ethics. English language proficiency also had a positive effect, indicating that better English skills may support

students' ability to access, understand, and apply AI-related information and ethical guidelines in digital contexts.

Conclusion

This study assessed students' digital competence using an internationally informed mixed framework. Within this framework, students evaluated their digital competence through a self-assessment questionnaire. Factor analysis was conducted to identify and validate the key dimensions of digital competence.

First, the findings indicate that students generally evaluated their digital competence at a moderate to good level. Specifically, **65.4%** of respondents rated their information and data literacy as good or very good, **73.63%** rated their communication and collaboration skills as good or very good, **64.14%** rated their digital content creation skills as good or very good, **63.07%** rated their digital safety skills as good or very good, and **69.7%** rated their artificial intelligence and digital ethics skills as good or very good. Among the five dimensions, communication and collaboration received the highest rating, while digital safety received the lowest. Overall, students' average digital competence level was **67.19%,** corresponding to a mean score of **3.82.**

Second, students' self-assessed English proficiency varied across levels: **28.6%** reported beginner-level proficiency, **60.8%** reported intermediate-level proficiency, and **10.7%** reported advanced-level proficiency. Regression analysis showed that English proficiency was significantly associated with all five dimensions of digital competence. This suggests that students with higher English proficiency are more likely to learn, access, and use digital tools effectively. In addition, stronger English skills may help students overcome challenges related to digital technology use, even when their digital competence is still developing.

Third, the survey results further support the importance of English proficiency in developing digital competence. A majority of students **(59.7%)** reported that English proficiency has a strong influence on their digital competence development, while **34.7%** reported a moderate influence and **5.6%** reported a low influence. However, students' ability to understand and use English-language software instructions, learning materials, and web resources appeared to be limited. Only **3.9%** reported that they could fully understand and use such resources, while **34.7%** could understand and use them most of the time, **43.7%** could use them with partial understanding, and **17.6%** could understand and use them only occasionally. These findings suggest that limited English proficiency may remain a barrier to students' effective use of digital resources.

Finally, the regression results confirmed that both English language proficiency and information technology experience significantly influenced all five dimensions of digital competence: information and data literacy, communication and collaboration, digital content creation, digital safety, and artificial intelligence and digital ethics. Therefore, improving students' English proficiency and providing more opportunities for practical technology use may contribute to strengthening their overall digital competence.

Recommendations

The findings indicate that information technology experience is a significant factor in strengthening students' digital competence. Therefore, the current information technology curriculum should be carefully reviewed and improved to better support the development of students' digital skills. In particular, topics related to digital safety, artificial intelligence, and digital ethics should be systematically integrated into the course content.

The results also show that English language proficiency plays an important role in students' digital competence. Although 60.8% of students rated their English proficiency as intermediate and 28.6% as beginner level, their ability to use English-language learning materials and web-based resources remained moderate. This suggests that limited English proficiency may restrict students' ability to access, understand, and effectively use digital tools and online resources.

Therefore, future curriculum development should place greater emphasis on improving students' English language skills, especially in relation to digital learning contexts. Strengthening students' ability to understand English-language software instructions, online learning materials, and web-based information may contribute to the improvement of their overall digital competence.

References

1. (Editor), J. F. (2023). *AN INTERNATIONAL PERSPECTIVE ON DIGITAL LITERACY Results from ICILS 2023.* Springer Nature Switzerland AG.

2. Alec I. Kennedy, A. S. (2023). *Relationships Between Computer and Information Literacy, Computational Thinking, and Student Background.* Springer.

3. Alsmari, N. A. (2021). The Relationship between Language Proficiency Level and L2 Digital Literacy Self-efficacy: A Study of EFL University Students. *International Journal of Arabic-English Studies (IJAES)*, Vol. 21, No. 2,.

4. Jiafan Cao 1, 2. G. (2023). The digital edge: examining the relationship between digital competency and language learning outcomes. *Frontiers in Psychology*.

5. Jimmy K. N. Macharia, G. G. (2026). A Framework for National Foundational Digital Literacy Skills Training of Citizens in Kenya. *International Journal of Digital Literacy and Digital Competence*, 1-28.

6. Ling (Angela) Xia1, *. a. (2024, September). *Connecting the Dots: Language Proficiency and Information and Communication Technology Competency of EMI University*. Retrieved from Research gate: https://www.researchgate.net/publication/384382052_Connecting_the_dots_Examining_the_relationship_between_language_proficiency_and_digital_literacy_of_EMI_university_students

7. Putri Elia Angguni, M. S. (2026). The Relationship Between Digital Literacy and Self-Perceived Academic Writing Ability Among EFL University Students. *JOLLS: Journal of Language and Literature Studies Vol. 6, No. 1*, 43-54.

8. Yafeng Song, S. L. (2025). The Impact of Digital Learning Competence on the Academic Achievement of Undergraduate Students. *Behav Science*.

9. Yulian Dinihari1, M. (2026). The Role of Digital Literacy and Indonesian Language Proficiency Among University Students in Using Social Media. *International Journal of Recent Educational Research, Vol. 7, No. 1, January 2026*, 382-399.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ АНГЛИЙСКОМУ ЯЗЫКУ СТУДЕНТОВ НЕЯЗЫКОВЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Мусина Н.М.
Ст. преподаватель кафедры иностранных и русского языков,
Магистр гум. наук
Позднякова В.В.
Преподаватель кафедры иностранных и русского языков,
Магистр гум. наук

MODERN METHODS OF TEACHING PROFESSIONAL ENGLISH TO STUDENTS OF NON-LINGUISTIC SPECIALTIES

Musina N.
Senior Lecturer of the Department of Foreign and Russian Languages
Master of Arts in Humanities
Pozdnyakova V.
Lecturer of the Department of Foreign and Russian Languages,
Master of Arts in Humanities
DOI: 10.5281/zenodo.20152758

Аннотация

В статье рассматриваются современные методы обучения профессионально-ориентированному английскому языку студентов неязыковых специальностей. Целью исследования является анализ эффективности применения современных педагогических подходов. Использован квазиэкспериментальный метод. Результаты показали повышение уровня владения языком, развитие коммуникативных навыков и рост мотивации обучающихся. Определена эффективность интеграции практико-ориентированных методов обучения.

Abstract

The article considers modern methods of teaching English for Specific Purposes to non-language students. The aim of the study is to analyze the effectiveness of modern pedagogical approaches. A quasi-experimental method was used. The results show improvement in language proficiency, development of communication skills and increased student motivation. The effectiveness of integrating practice-oriented teaching methods is determined.

Ключевые слова: Профессионально-Ориентированный Английский Язык, Обучение Иностранному Языку, Неязыковые Специальности, Коммуникативная Компетенция, CLIL, Task-Based Learning, Проектное Обучение, Цифровые Технологии, Учебная Мотивация.

Keywords: Professionally Oriented English, Foreign Language Teaching, Non-Linguistic Specialties, Communicative Competence, CLIL, Task-Based Learning, Project-Based Learning, Digital Technologies, Learning Motivation.

В современном мире, характеризующемся глобализацией, цифровизацией и стремительным расширением международного сотрудничества, значение английского языка как глобального существенно возросло. Английский широко используется в науке, технологиях, бизнесе и образовании, что делает его важнейшим инструментом профессиональной коммуникации. Для студентов неязыковых специальностей, таких как экономика, информационные технологии, туризм, экология, менеджмент и управление инновационными проектами владение английским языком является не дополнительным преимуществом, а необходимым условием успешного академического и профессионального развития.

В связи с этим высшие учебные заведения сталкиваются с задачей подготовки выпускников, способных эффективно функционировать в многоязычной и межкультурной профессиональной среде. Это предполагает не только владение общим английским языком, но и способность использовать его в профессиональных контекстах, таких как написание отчетов, участие в совещаниях, ведение переговоров и анализ специализированной информации.

Однако традиционные подходы к обучению английскому языку в неязыковых программах часто подвергаются критике за их ограниченную эффективность. Как правило, они ориентированы на изучение грамматики, переводческие упражнения и заучивание общей лексики. Хотя такие методы способствуют формированию базовых языковых навыков, они не обеспечивают должной подготовки к реальной профессиональной коммуникации. В результате выпускники нередко испытывают трудности при использовании английского языка в своей профессиональной деятельности.

В ответ на эти вызовы в современной педагогике все большее внимание уделяется концепции обучения английскому языку для специальных целей (ESP — English for Specific Purposes). Данный подход предполагает интеграцию изучения языка с конкретными академическими и профессиональ-

ными потребностями обучающихся. Он основывается на принципе, согласно которому усвоение языка является более эффективным, если оно напрямую связано с целями, интересами и будущей профессиональной деятельностью студентов. Курсы ESP направлены не только на развитие языковой компетенции, но и на формирование профессиональных коммуникативных навыков, включая использование специализированной терминологии, понимание профильных текстов и участие в профессиональном дискурсе.

Современные отечественные исследования подтверждают эффективность внедрения инновационных методик обучения профессиональному иностранному языку в системе высшего образования. Так, в работах П. В. Сысоева подчеркивается, что предметно-языковое интегрированное обучение (CLIL) способствует формированию профессионально-коммуникативной компетенции студентов неязыковых направлений и обеспечивает более тесную интеграцию языка и содержания профильных дисциплин [6, с.351].

Исследования И. В. Батуновой, Е. И. Лобыневой и А. Ю. Николаевой показывают, что применение CLIL в вузах способствует развитию у студентов способности использовать иностранный язык в профессиональном контексте, а также повышает их учебную мотивацию за счет практико-ориентированного характера обучения [2, с.116].

Отдельное внимание в современной методике уделяется технологии смешанного обучения (blended learning). Согласно результатам исследования О. Н. Баклашкиной и соавторов, данная модель позволяет повысить эффективность усвоения языкового материала, обеспечить индивидуализацию обучения и расширить возможности самостоятельной работы студентов [1, с.74].

Кроме того, внедрение цифровых технологий в процесс обучения иностранным языкам рассматривается как один из ключевых факторов повышения его эффективности. Как отмечает В. К. Никитина, использование мультимедийных ресурсов, онлайн-платформ и элементов виртуальной реальности способствует росту мотивации обучающихся и формированию устойчивых коммуникативных навыков [5, с.21].

Таким образом, представленные исследования демонстрируют, что CLIL, blended learning и цифровые технологии формируют единую методологическую основу современного обучения иностранному языку в вузе. CLIL-подход относится к интегративным образовательным стратегиям, обеспечивающим связь предметного содержания и иностранного языка, и может рассматриваться как методологическая основа для дальнейшего использования более конкретных методик обучения, направленных на формирование практических коммуникативных навыков студентов.

На основе данных методологических подходов реализуются конкретные педагогические методы, направленные на практическое формирование иноязычной профессиональной компетенции.

Современные методы обучения профессиональному английскому языку базируются на личностно-ориентированном и компетентностном подходах. Они предполагают активное участие студентов, сотрудничество и практическое применение знаний. К наиболее распространенным методам относятся обучение на основе задач (Task-Based Learning), проектное обучение (Project-Based Learning), проблемное обучение (Problem-Based Learning) и кейс-метод [3, с.33]. Эти подходы побуждают студентов участвовать в значимой деятельности, моделирующей реальные профессиональные ситуации, что способствует развитию как языковой, так и профессиональной компетенции.

Реализация указанных методов обучения становится более эффективной при использовании современных цифровых образовательных технологий, обеспечивающих практическую направленность и вариативность учебного процесса.

Еще одним важным аспектом современного обучения является интеграция цифровых технологий. Использование онлайн-платформ, мультимедийных ресурсов, виртуальных симуляций и мобильных приложений трансформирует образовательный процесс, делая его более гибким, интерактивным и доступным. Цифровые инструменты предоставляют студентам возможность работать с аутентичными материалами, взаимодействовать с обучающимися и специалистами по всему миру, а также развивать навыки самостоятельного обучения. Кроме того, технологии способствуют персонализации обучения, позволяя студентам осваивать материал в индивидуальном темпе с учетом их потребностей.

Результатом применения данных подходов и технологий становится не только формирование языковых навыков, но и развитие универсальных (гибких) компетенций обучающихся.

Помимо языковых навыков, современные подходы к обучению профессиональному английскому направлены на развитие так называемых универсальных (гибких) навыков (soft skills), к которым относятся критическое мышление, умение решать проблемы, командная работа, креативность и межкультурная коммуникация. Эти компетенции, в отличие от hard skills, являются ключевыми для успешной профессиональной деятельности в условиях современного рынка труда и эффективно формируются в процессе интерактивного и коллективного обучения [4, с.31].

Несмотря на признание значимости современных методов обучения, их внедрение в высших учебных заведениях не всегда носит системный и последовательный характер. Многие преподаватели продолжают использовать традиционные подходы из-за недостатка подготовки, ресурсов или институциональной поддержки. В связи с этим возникает необходимость проведения эмпирических исследований, направленных на оценку эффективности современных методов и разработку практических рекомендаций по их внедрению в образовательный процесс.

Таким образом, актуальность данного исследования обусловлена необходимостью выявления и анализа эффективных методов обучения профессиональному английскому языку студентов неязыковых специальностей в условиях современных образовательных требований. Целью данной статьи является анализ современных подходов к обучению и оценка их влияния на уровень владения языком, мотивацию студентов и их готовность к профессиональной коммуникации.

С целью исследования эффективности современных методов обучения профессионально-ориентированному английскому языку преподавателями кафедры «Иностранных и русского языков» Карагандинского университета Казпотребсоюза было организовано и проведено педагогическое исследование.

Данное исследование было направлено на выявление эффективности современных методов обучения профессионально-ориентированному английскому языку и оценку их влияния на уровень языковой подготовки, мотивацию студентов и готовность к профессиональной коммуникации.

В соответствии с поставленной целью были определены следующие задачи:

1. Проанализировать существующие подходы к обучению профессиональному английскому языку;

2. Внедрить современные методы обучения в образовательный процесс;

3. Оценить динамику развития языковых и коммуникативных навыков студентов;

4. Провести сравнительный анализ результатов обучения.

В исследовании приняли участие студенты второго курса неязыковых специальностей:

1. «Менеджмент» (МН) — 18 человек,

2. «Туризм» (ТУР) — 20 человек,

3. «Вычислительные технологии» (ВТ) — 17 человек.

Общее количество участников составило 55 студентов. Все обучающиеся имели уровень владения английским языком в пределах B1–B2, что соответствует среднему уровню по общеевропейской шкале (CEFR) и позволяет эффективно использовать коммуникативные и профессионально-ориентированные методы обучения.

Исследование носило квазиэкспериментальный характер и проводилось в течение одного академического семестра. В рамках исследования студенты были условно разделены на контрольную и экспериментальную группы.

Экспериментальную группу составили студенты специальностей «Менеджмент» и «Туризм» (38 человек), в обучении которых применялись современные методы обучения (проектное обучение, кейс-метод, ролевые игры, обучение на основе задач и цифровые инструменты).

Контрольную группу составили студенты специальности «Вычислительные технологии» (17 человек), обучение которых осуществлялось с использованием традиционных методов (работа с учебником, перевод, грамматические упражнения).

Такое распределение позволило провести сравнительный анализ эффективности различных подходов к обучению профессиональному английскому языку.

Для сбора и анализа данных использовались следующие методы: педагогическое наблюдение, анкетирование студентов, тестирование (входное и итоговое), анализ учебной деятельности студентов

Исследование проводилось в три этапа:

1. Диагностический этап

На начальном этапе был определен уровень владения английским языком студентов с помощью входного тестирования, а также выявлены их мотивация и отношение к изучению профессионального английского языка посредством анкетирования.

2. Формирующий этап

На протяжении семестра в экспериментальной группе применялись современные методы обучения: выполнение профессионально ориентированных заданий (Task-Based Learning), разработка мини-проектов (например, бизнес-планы, туристические маршруты), анализ кейсов, ролевые игры (переговоры, собеседования, деловые встречи), использование цифровых платформ и мультимедийных материалов

В контрольной группе обучение проходило в традиционном формате, с акцентом на грамматические упражнения, перевод текстов и работу с учебником.

3. Контрольный этап

На заключительном этапе было проведено итоговое тестирование, направленное на оценку: уровня владения профессиональной лексикой, навыков чтения специализированных текстов, письменной речи, устной коммуникации в профессиональных ситуациях.

Полученные результаты были сопоставлены с данными входного тестирования.

В ходе исследования было установлено, что применение современных методов обучения оказало положительное влияние на уровень владения английским языком студентов.

Студенты экспериментальной группы продемонстрировали: повышение уровня владения профессиональной лексикой, улучшение навыков устной речи, более высокую вовлеченность в учебный процесс, рост мотивации к изучению английского языка

В частности, наблюдалось, что студенты активнее участвовали в обсуждениях, увереннее использовали английский язык в профессиональных ситуациях и проявляли большую самостоятельность при выполнении заданий.

В контрольной группе также был зафиксирован прогресс, однако он носил менее выраженный характер и в большей степени касался развития грамматических навыков и чтения.

Сравнительный анализ результатов показал, что использование современных методов обучения способствует более эффективному формированию как языковой, так и профессиональной коммуникативной компетенции.

Таким образом, современные подходы к обучению профессионально-ориентированному английскому языку демонстрируют высокую результативность в условиях подготовки студентов неязыковых специальностей. Их использование позволяет интегрировать языковую подготовку с профессиональным содержанием, обеспечивая формирование не только языковой, но и коммуникативной и межкультурной компетенции.

Практико-ориентированный характер обучения, опора на активные методы и использование цифровых технологий способствуют повышению мотивации обучающихся, развитию их самостоятельности и готовности к решению профессиональных задач на английском языке.

В то же время традиционные подходы сохраняют свою значимость как основа языковой подготовки, однако требуют переосмысления и дополнения современными педагогическими технологиями.

В целом, переход к комплексному использованию современных методов обучения представляется необходимым условием повышения качества языковой подготовки студентов и их успешной интеграции в профессиональную среду.

Список литературы

1. Баклашкина О. Н., Максимова Н. В., Луц С. С. Преимущества гибридной формы обучения в преподавании иностранных языков // Baikal Research Journal. — 2021. — Т. 12, № 3. — С. 72–78.

2. Батунова И. В., Лобынева Е. И., Николаева А. Ю. Особенности интегрированного обучения содержанию и языку в российских вузах // Международный научно-исследовательский журнал. — 2022. — № 2 (116). — С. 116–120.

3. Данилова Т.В., Демидова Т.Е., Тонких А.П. Проектное обучение студентов как основное условие их готовности к профессиональной деятельности // Управление образованием: теория и практика. – 2022. Том 12, № 4. С. 32-36.

4. Коленова В. А. Эмоциональный интеллект - навык soft skills успешности в карьере // Базис. - 2024. - № 1 (15). С. 30-33.

5. Никитина В. К. Инновационные подходы к преподаванию иностранных языков в вузе: использование смешанного обучения и VR-технологий // Управление образованием: теория и практика. — 2023. — № 11. — С. 19–25.

6. Сысоев П. В. Дискуссионные вопросы внедрения предметно-языкового интегрированного обучения профессиональному общению в России // Язык и культура. — 2019. — № 48. — С. 349–371.

SECTION OF SOCIAL AND ECONOMIC SCIENCES

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ РОЗВИТКУ ЕКОНОМІКИ ЗНАНЬ У РЕГІОНАХ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ ІНДИКАТОРІВ ТА ІНДЕКСІВ

Гнатюк Т.М.
доцент кафедри обліку і оподаткування, кандидат економічних наук
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

METHODOLOGICAL APPROACHES TO ASSESSING THE LEVEL OF KNOWLEDGE ECONOMY DEVELOPMENT IN UKRAINIAN REGIONS BASED ON INDICATORS AND INDICES

Gnatiuk T.
Associate Professor at the Department of Accounting and Taxation,
PhD in Economics
Vasyl Stefanyk Karpathian National University
DOI: 10.5281/zenodo.20152779

Анотація

Досліджуються методологічні підходи до оцінювання рівня розвитку економіки знань на регіональному рівні. Проведено порівняльний аналіз міжнародних методик: KEI Світового банку, методології OECP, Регіонального інноваційного індексу ЄС (RII) та Глобального інноваційного індексу (GII). Обґрунтовано обмеження їх застосування в умовах регіональної статистики України. Запропоновано авторську систему з 16 індикаторів, згрупованих у чотири блоки: людський капітал та освіта, інноваційна діяльність, цифрова інфраструктура та інституційне середовище.

Abstract

The article examines methodological approaches to assessing the level of knowledge economy development at the regional level. A comparative analysis of international measurement methodologies has been conducted, including the World Bank Knowledge Economy Index (KEI), OECD methodology, the EU Regional Innovation Scoreboard (RII), and the Global Innovation Index (GII). The limitations of applying these methodologies to Ukrainian regional statistics are substantiated. An original system of 16 indicators grouped into four blocks is proposed: human capital and education, innovation activity, digital infrastructure, and institutional environment.

Ключові слова: економіка знань, індикатори, індекси, регіональний розвиток, методологія оцінювання, людський капітал, інновації.

Keywords: knowledge economy, indicators, indices, regional development, assessment methodology, human capital, innovations.

Формування економіки знань є одним із ключових пріоритетів сучасного регіонального розвитку. В умовах глобальної конкуренції знання та інновації перетворюються на основний ресурс економічного зростання, а здатність регіонів генерувати, поширювати та комерціалізувати знання визначає їхню конкурентоспроможність у довгостроковій перспективі. Водночас об'єктивне оцінювання рівня розвитку економіки знань залишається одним із найскладніших методологічних завдань сучасної регіональної економіки.

Актуальність дослідження зумовлена кількома чинниками. По-перше, наявні міжнародні методики вимірювання економіки знань (KEI Світового банку, індекси OECP, Глобальний інноваційний індекс) розроблені переважно для національного рівня аналізу і потребують суттєвої адаптації для застосування на регіональному рівні. По-друге, специфіка вітчизняної статистичної звітності та відсутність ряду показників на регіональному рівні створюють суттєві перешкоди для безпосереднього перенесення міжнародних методологій [2]. По-третє, розрив у рівнях розвитку економіки знань між регіонами України є значним, що потребує розробки диференційованих інструментів оцінювання.

Метою статті є систематизація та порівняльний аналіз методологічних підходів до вимірювання рівня розвитку економіки знань, а також розробка адаптованої системи індикаторів для оцінювання регіонів України.

Проблематика вимірювання економіки знань знайшла відображення у працях багатьох зарубіжних і вітчизняних дослідників. Серед зарубіжних науковців вагомий внесок у розробку концептуальних основ економіки знань зробили Д. Белл, П. Друкер, Ф. Махлуп, Й. Шумпетер, Е. Тофлер. Теоретичні засади вимірювання знаннєвої економіки розкрито у роботах К. Арроу, Р. Солоу, П. Ромера в контексті теорій ендогенного зростання.

Серед вітчизняних дослідників питання розвитку економіки знань розглядали В. Геєць, А. Гриценко, В. Семиноженко, А. Чухно. Регіональний вимір знаннєвої економіки досліджено у роботах М. Долішнього, В. Мамонової, О. Амоші [3, с. 45]. Проблеми вимірювання рівня розвитку регіонів у контексті інноваційної економіки аналізуються у публікаціях Ю. Бажала [2, с. 35], Л. Федулової [6, с. 45], А. Козлової [5, с. 2].

Незважаючи на значний науковий доробок, питання розробки комплексної системи індикаторів

для оцінювання рівня розвитку економіки знань саме на регіональному рівні України залишається недостатньо дослідженим. Більшість наявних методик або орієнтовані на національний рівень, або використовують обмежений набір показників, що не відображає багатовимірність феномену економіки знань.

Дослідження базується на методах систематизації та порівняльного аналізу існуючих підходів до вимірювання економіки знань, а також методах індукції та дедукції при формуванні авторської системи індикаторів. Використано документальний аналіз методологій міжнародних організацій (Світового банку, ОЕСР, ЄС), а також вітчизняної нормативно-методологічної бази статистичного обліку.

Серед найбільш поширених міжнародних інструментів вимірювання рівня розвитку економіки знань виділяються такі.

Індекс економіки знань Світового банку (KEI). Методологія KEI, розроблена Інститутом знань для розвитку Світового банку, включає 148 структурних та якісних змінних, які агрегуються у чотири субіндекси: економічні стимули та інституційний режим, освіта та людські ресурси, інноваційна система, інформаційно-комунікаційні технології. Індекс охоплює понад 140 країн світу та дає змогу здійснювати крос-країнові порівняння, однак орієнтований виключно на національний рівень аналізу [3, с. 27].

Методологія ОЕСР. Організація економічного співробітництва та розвитку пропонує комплексну методологію вимірювання знаннєвої економіки, що включає показники наукових досліджень та розробок (R&D), патентної активності, технологічного платіжного балансу, зайнятості у наукомістких галузях. ОЕСР також розробила методологію вимірювання інноваційної діяльності на регіональному рівні у рамках Регіональних інноваційних оглядів [9, с. 145].

Регіональний інноваційний індекс ЄС (RII). Починаючи з 2016 року Єврокомісія публікує Регіональний інноваційний індекс, який охоплює 239 регіонів ЄС рівня NUTS-2 і включає 18 індикаторів, згрупованих у п'ять блоків: умови для інновацій, інвестиції, діяльність інноваторів, зв'язки та підприємництво, результати інтелектуальної власності [8]. Цей індекс є найбільш методологічно близьким до регіонального рівня аналізу.

Глобальний інноваційний індекс (GII). Розроблений WIPO спільно з INSEAD та Корнельським університетом, GII охоплює понад 130 країн і включає 81 показник, розподілений за двома субіндексами: ресурси інновацій та результати інновацій. Перевагою GII є поєднання кількісних та якісних методів збору даних [10, с. 22].

Таблиця 1

Порівняльний аналіз міжнародних методологій вимірювання економіки знань

Методологія	KEI (Світовий банк)	Методологія ОЕСР	RII (Євросоюз)	GII (WIPO)
Рівень аналізу	Національний	Національний / регіональний	Регіональний (NUTS-2)	Національний
Кількість індикаторів	148	50+	18	81
Ключові блоки	Освіта, ІКТ, інновації, інституції	R&D, патенти, наукомісткі галузі	Умови, інвестиції, підприємництво	Ресурси та результати інновацій
Охоплення країн / регіонів	140+ країн	38 країн ОЕСР	239 регіонів ЄС	130+ країн
Придатність для регіонів України	Низька	Середня	Середня	Низька

Джерело: складено автором на основі [2; 5; 6; 7]

Аналіз вказаних методологій дозволяє виявити ряд обмежень їх застосування для оцінювання регіонів України.

По-перше, проблема інформаційного забезпечення. Більшість міжнародних індексів використовують показники, які або не збираються на регіональному рівні в Україні, або збираються з недостатньою деталізацією. Зокрема, дані щодо регіонального R&D-фінансування, патентної активності в розрізі регіонів, обсягів венчурного капіталу є неповними або відсутніми у відкритому доступі [4, с. 4].

По-друге, різнорідність методологічних баз. Вітчизняна статистична методологія у ряді випадків суттєво відрізняється від міжнародних стандартів. Класифікації видів економічної діяльності, форм власності, категорій зайнятості можуть не повністю відповідати класифікаторам, що використовуються в міжнародних методологіях [3, с. 95].

По-третє, проблема актуальності даних. Деякі ключові показники збираються з великим часовим лагом, що ускладнює своєчасне відстеження змін у рівні розвитку економіки знань на регіональному рівні.

По-четверте, проблема агрегування. Процедури зведення окремих індикаторів у комплексні

індекси (нормалізація, зважування) мають суттєвий суб'єктивний компонент, що впливає на порівнянність результатів між різними методологіями.

З урахуванням виявлених обмежень пропонується система індикаторів, що охоплює чотири блоки та включає 16 показників.

Блок 1: Людський капітал та освіта. Включає показники: частка осіб із вищою освітою у загальній чисельності населення регіону (%); кількість студентів закладів вищої освіти на 10 тис. осіб населення; кількість дослідників та науково-педагогічних працівників на 10 тис. осіб зайнятого населення; витрати на освіту у відсотках до валового регіонального продукту (ВРП).

Блок 2: Інноваційна діяльність та технологічний розвиток. Включає: кількість зареєстрованих патентів на 1 млн осіб населення; обсяг витрат на R&D у відсотках до ВРП; частка підприємств, що впроваджували інновації (%); обсяг реалізованої інноваційної продукції на одну особу населення (грн).

Блок 3: Цифрова інфраструктура та ІКТ. Включає: рівень проникнення широкосмугового інтернету (%); частка домогосподарств із доступом до інтернету (%); кількість зайнятих у сфері ІКТ на 1000 осіб зайнятого населення; частка електронного урядування у загальному обсязі державних послуг (%).

Блок 4: Інституційне середовище та бізнес-клімат. Включає: щільність малих та середніх інноваційних підприємств на 10 тис. осіб; обсяг прямих іноземних інвестицій на одну особу (USD); рівень розвитку технопарків і бізнес-інкубаторів (бали за якісною шкалою); індекс якості регіонального врядування.

Таблиця 2

Авторська система індикаторів оцінювання рівня розвитку економіки знань у регіонах України

Блок	Індикатор	Тип
Людський капітал та освіта	Частка осіб із вищою освітою (%)	Стимулятор
	Студенти ЗВО на 10 тис. осіб	Стимулятор
	Дослідники на 10 тис. зайнятих	Стимулятор
	Витрати на освіту (% ВРП)	Стимулятор
Інноваційна діяльність	Патенти на 1 млн осіб	Стимулятор
	Витрати на R&D (% ВРП)	Стимулятор
	Частка інноваційних підприємств (%)	Стимулятор
	Інноваційна продукція на особу (грн)	Стимулятор
Цифрова інфраструктура	Проникнення широкосмугового інтернету (%)	Стимулятор
	Домогосподарства з доступом до інтернету (%)	Стимулятор
	Зайняті у сфері ІКТ на 1000 зайнятих	Стимулятор
	Частка е-послуг у держуправлінні (%)	Стимулятор
Інституційне середовище	Щільність інноваційних МСП на 10 тис. осіб	Стимулятор
	ПІІ на особу (USD)	Стимулятор
	Рівень розвитку технопарків (бали)	Стимулятор
	Індекс якості регіонального врядування	Стимулятор

Джерело: розроблено автором

Запропонована система забезпечує: по-перше, відповідність наявній вітчизняній статистичній базі (Державна служба статистики України, регіональна статистика); по-друге, можливість динамічного відстеження змін у часовому вимірі; по-третє, порівнянність між регіонами та узгодженість із міжнародними методологіями.

Для розрахунку інтегрального індексу пропонується використовувати метод таксономічного аналізу, який дозволяє уникнути суб'єктивності у визначенні вагових коефіцієнтів. Нормалізація показників здійснюється за методом мін-макс:

для стимуляторів: Iij = (xij – min xj) / (max xj – min xj)

для дестимуляторів: Iij = (max xj – xij) / (max xj – min xj)

де xij — значення j-го показника для і-го регіону; max xj та min xj — максимальне та мінімальне значення j-го показника серед усіх регіонів відповідно.

Інтегральний індекс розвитку економіки знань (ІІРЕЗ) для кожного регіону розраховується як середньоарифметичне нормалізованих значень усіх включених індикаторів або із застосуванням вагових коефіцієнтів, визначених методом головних компонент. Значення ІІРЕЗ знаходиться у діапазоні від 0 до 1, де значення, близьке до 1, свідчить про високий рівень розвитку економіки знань у регіоні.

Градація регіонів за рівнем розвитку економіки знань пропонується здійснювати за такою шкалою: 0,75–1,00 — дуже високий рівень; 0,50–0,74 — високий рівень; 0,25–0,49 — середній рівень; 0,00–0,24 — низький рівень. Така диференціація дозволяє ідентифікувати регіони-лідери та регіони-аутсайдери у формуванні економіки знань і розробляти адресні заходи регіональної політики.

Проведений аналіз методологічних підходів до вимірювання рівня розвитку економіки знань дозволяє зробити такі висновки.

По-перше, існуючі міжнародні методології (KEI Світового банку, RII ЄС, GII, методологія OECP) розроблені переважно для національного рівня аналізу і потребують суттєвої адаптації для застосування в регіональному вимірі України.

По-друге, основними обмеженнями використання міжнародних методологій є: недостатня деталізація регіональної статистики в Україні, відмінності у методологічних базах порівняно з міжнародними стандартами, часові лаги у зборі даних та суб'єктивність процедур агрегування окремих індикаторів.

По-третє, запропонована авторська система індикаторів включає 16 показників, об'єднаних у чотири блоки (людський капітал та освіта, інноваційна діяльність та технологічний розвиток, цифрова інфраструктура та ІКТ, інституційне середовище та бізнес-клімат), що дозволяє комплексно оцінити рівень розвитку економіки знань у регіонах України.

По-четверте, застосування методу таксономічного аналізу у поєднанні з нормалізацією за методом мін-макс забезпечує уникнення суб'єктивності у визначенні вагових коефіцієнтів та порівнянність результатів між регіонами і в динаміці.

Перспективами подальших досліджень є апробація запропонованої системи індикаторів на реальних статистичних даних та порівняльне оцінювання рівнів розвитку економіки знань у регіонах України за різні роки.

Список літератури

1. Ахновська І.О., Болгов В.Є. Управління людським капіталом бізнес-спільноти в умовах економіки знань. Економіка та суспільство. 2023. № 52. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-52-64

2. Бажал Ю.М., Александрова В.П., Данько М.С. та ін. Економіка знань та її перспективи для України: наук. доп. / ред. В.М. Геєць. Київ: НАН України, Ін-т екон. прогнозування, 2005. 168 с.

3. Геєць В.М., Бажал Ю.М., Александрова В.П. та ін. Україна у вимірі економіки знань. Київ: Основа, 2006. 592 с.

4. Кравчук О.П., Лебедченко В.О., Луців Р.Б. Економіка знань, сучасні інформаційно-комунікаційні технології. Економіка та суспільство. 2023. № 51. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-51-11

5. Крилов Д.В. Аналіз рейтингового оцінювання розвитку інноваційної діяльності в Україні. Ефективна економіка. 2022. № 5. DOI: https://doi.org/10.32702/2307-2105-2022.5.8

6. Федулова Л.І. Технологічний розвиток економіки України. Київ: Ін-т екон. та прогнозув. НАН України, 2006. 627 с.

7. Чухно А.А. Постіндустріальна економіка: теорія, практика та їх значення для України. Київ: Логос, 2003. 631 с.

8. European Commission. Regional Innovation Scoreboard 2023. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2023. 86 p.

9. OECD. OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2023. Paris: OECD Publishing, 2023. 324 p.

10. World Intellectual Property Organization. Global Innovation Index 2023. Geneva: WIPO, 2023. 267 p.

МІСЦЕВІ БЮДЖЕТИ В СИСТЕМІ ФІНАНСОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

Левандівський О.Т.
професор, д.е.н.
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

LOCAL BUDGETS IN THE SYSTEM OF FINANCIAL SUPPORT FOR TERRITORIAL COMMUNITY DEVELOPMENT

Levandivskyi O.
Professor, Doctor of Economics
Vasyl Stefanyk Carpathian National University
DOI: 10.5281/zenodo.20152812

Анотація

Розглядаються концептуальні підходи до визначення ролі місцевого бюджету як активного драйвера розвитку територіальних громад. Проведено порівняльний аналіз п'яти теоретичних підходів: фіскального федералізму, теорії суспільних благ, інституційного підходу, теорії ендогенного зростання та теорії стійкості. Запропоновано авторське визначення місцевого бюджету як драйвера розвитку та виокремлено три канали його впливу на громаду: інвестиційний, соціальний та інституційний. Розроблено систему з 10 індикаторів оцінювання бюджетної спроможності громад, об'єднаних у чотири блоки.

Abstract

Conceptual approaches to defining the role of local budgets as an active driver of territorial community development are considered. A comparative analysis of five theoretical approaches is conducted: fiscal federalism, public goods theory, institutional approach, endogenous growth theory, and resilience theory. An author's definition of the local budget as a development driver is proposed, and three channels of its influence are identified: investment, social and institutional. A system of 10 indicators for assessing community budget capacity, grouped into four blocks, is developed.

Ключові слова: місцевий бюджет, територіальна громада, фінансова децентралізація, бюджетна спроможність, розвиток громад.

Keywords: local budget, territorial community, fiscal decentralisation, budget capacity, community development.

Місцевий бюджет є центральним інститутом фінансової системи територіальної громади. Саме через бюджетний механізм громади акумулюють ресурси, фінансують суспільні послуги та реалізують стратегії локального розвитку. Водночас у науковій літературі досі відсутнє єдине концептуальне бачення ролі місцевого бюджету як активного драйвера розвитку, а не лише пасивного інструменту перерозподілу коштів. Ця прогалина набуває особливої гостроти в умовах реформи децентралізації та воєнних викликів, що суттєво трансформували бюджетне середовище українських громад. Особливого значення набуває питання: за яких умов місцевий бюджет перетворюється з механізму фінансування поточних потреб на активний чинник стратегічного розвитку громади?

Реформа децентралізації, що розпочалася в Україні у 2014–2015 роках, принципово змінила архітектуру місцевих фінансів: територіальні громади (ТГ) отримали суттєво ширшу фінансову автономію, прямі міжбюджетні відносини з державним бюджетом та розширений перелік власних доходів. До ТГ перейшли повноваження щодо надання базових освітніх та медичних послуг, розвитку місцевої інфраструктури, регулювання земельних відносин. Результатом стало різке зростання фінансових ресурсів на місцевому рівні і підвищення ролі місцевих бюджетів у визначенні траєкторій розвитку громад [1]. До 2021 року питома вага доходів місцевих бюджетів у зведеному бюджеті України становила близько 24–25%, що є вдвічі більшим, ніж у передреформений період 2012–2013 років. За рахунок розширення власної доходної бази ТГ суттєво знизили залежність від державних трансфертів, набувши реальної фінансової автономії.

Повномасштабне вторгнення 2022 року поставило під серйозне випробування здатність місцевих бюджетів виконувати функцію драйвера розвитку: значна частина громад зіткнулась із різким скороченням доходів, зростанням видаткових зобов'язань та руйнуванням інфраструктури. Водночас саме ефективне управління місцевим бюджетом стало одним із ключових чинників, що визначали здатність громад адаптуватись до воєнних умов [2; 3]. Громади, що до 2022 року сформували стабільну доходну базу, мінімізували залежність від трансфертів та впровадили практику стратегічного бюджетного планування, виявились значно стійкішими до воєнних фінансових шоків. У цьому контексті наукове осмислення концептуальних засад та методологічного інструментарію оцінювання місцевих бюджетів як механізму розвитку набуває не лише теоретичного, а й практичного значення для формування ефективної бюджетної політики.

Теоретичне підґрунтя для дослідження місцевих бюджетів як інструменту розвитку закладено у концепції фіскального федералізму, розробленій у

роботах Ч. Тібу, В. Оутса та Р. Масгрейва. Класична теорема Тібу обґрунтовує, що конкуренція між юрисдикціями за мобільних платників податків стимулює ефективне надання суспільних благ і, відповідно, робить місцеві бюджети активним інструментом розвитку [7]. Подальший розвиток ця концепція отримала у другому поколінні теорій фіскального федералізму (Е. Вайнгаст, Б. Каллоус, Т. Берслі), що акцентували увагу на стимулах для місцевих органів влади до ефективного управління ресурсами та на важливості інституційного контексту. Принципово важливий висновок другого покоління теорій: фінансова децентралізація сама по собі не є достатньою умовою підвищення ефективності — вона дає позитивний ефект лише за наявності прозорості бюджетного процесу, підзвітності місцевих органів влади виборцям та ефективної конкуренції між юрисдикціями.

У вітчизняній науці питання місцевих фінансів та бюджетної децентралізації досліджувались у роботах О. Василика, В. Опаріна, І. Луніної. Зокрема, Канєва Т.В. та Карпенко М.Ю. розкрили методологічні засади формування доходної частини місцевих бюджетів за сучасних умов, обґрунтувавши роль майнового оподаткування та місцевих зборів у фінансовій автономії громад [3]. Ватаманюк-Зелінська У.З. дослідила тенденції формування та виконання місцевих бюджетів в умовах воєнного стану і виявила суттєву диференціацію громад за рівнем бюджетної спроможності [4]. Пилипенко Я.В. аналізує формування та виконання місцевих бюджетів в умовах війни, виявляє закономірності зміни доходної та видаткової частин [2]. Радіонов Ю.Д. дослідив формування та виконання державного і місцевих бюджетів в умовах воєнного стану, виявивши ключові структурні зрушення у доходній та видатковій частинах [5]. Кириленко О.П. аналізує механізми формування доходів місцевих бюджетів та їх вплив на розвиток громад, зокрема в розрізі реалізації принципу фінансової автономії [6]. Міжнародний досвід підтримки місцевих бюджетів в умовах збройних конфліктів та кризових ситуацій систематизовано в аналітичних матеріалах ОЕСР та Ради Європи [7; 8].

Незважаючи на значний науковий доробок, питання системної концептуалізації місцевого бюджету саме як драйвера — активного рушія, а не пасивного розподільника — розвитку громади залишається недостатньо дослідженим. Більшість наявних підходів розглядають місцевий бюджет крізь призму фінансування поточних потреб або перерозподілу ресурсів між центром і регіонами, не розкриваючи його потенціалу як активного інструменту стратегічного розвитку. Відсутність також єдиної системи індикаторів оцінювання бюджетної спроможності, адаптованої до вітчизняних умов та специфіки воєнного стану, суттєво ускладнює порівняльний аналіз та формування обґрунтованої бюджетної політики.

У науковій літературі можна виокремити щонайменше п'ять концептуальних підходів до визначення ролі місцевого бюджету у забезпеченні розвитку територіальних громад (табл. 1).

Таблиця 1

Концептуальні підходи до ролі місцевого бюджету у розвитку громад

Підхід	**Ключові положення**	**Роль місцевого бюджету**
Фіскальний федералізм	Децентралізація доходів і видатків між рівнями влади	Інструмент розподілу фінансових ресурсів між центром і громадами
Теорія суспільних благ	Ефективне надання локальних суспільних благ на місцевому рівні	Механізм фінансування суспільних послуг відповідно до потреб громади
Інституційний підхід	Формальні та неформальні правила бюджетного процесу	Інститут фінансової автономії та відповідальності громади
Ендогенне зростання	Місцеві інвестиції в людський капітал та інфраструктуру	Драйвер ендогенного зростання через капітальні видатки
Теорія стійкості	Спроможність системи адаптуватись до зовнішніх шоків	Фінансовий буфер і ресурс відновлення громади в кризових умовах

Джерело: складено автором на основі [3; 7]

Аналіз зазначених підходів дозволяє запропонувати авторське визначення місцевого бюджету як драйвера розвитку. Місцевий бюджет є драйвером розвитку територіальної громади тоді, коли він не лише забезпечує поточне фінансування суспільних послуг, а й активно формує умови для довгострокового зростання добробуту мешканців через стратегічні інвестиції в інфраструктуру, людський капітал та інституційну спроможність громади.

Реалізація драйверної функції відбувається через три канали впливу. Перший — інвестиційний: капітальні видатки місцевого бюджету формують матеріальну базу розвитку (дороги, комунальна інфраструктура, освітні та медичні заклади). Другий — соціальний: видатки на освіту, охорону здоров'я та соціальний захист розвивають людський капітал громади. Третій — інституційний: якість бюджетного процесу, прозорість і підзвітність формують довіру між громадою та органами самоврядування, що є необхідною умовою ефективного використання ресурсів [4; 6].

Концепція місцевого бюджету як драйвера розвитку передбачає принципову зміну логіки бюджетного процесу: від реактивного розподілу наявних ресурсів — до проактивного стратегічного

управління фінансами громади з орієнтацією на довгостроковий результат. Це відповідає міжнародній практиці результативно орієнтованого бюджетування, що дедалі ширше впроваджується у практику місцевого самоврядування країн ЄС [7].

Важливим теоретичним аспектом є розмежування між необхідними та достатніми умовами реалізації місцевим бюджетом функції драйвера розвитку. Необхідною умовою є наявність достатньої фінансової бази — власних доходів, що забезпечують певний рівень автономії у прийнятті бюджетних рішень. Достатньою умовою є наявність у органів місцевого самоврядування відповідної управлінської спроможності та стратегічного бачення для ефективного використання цих ресурсів в інтересах розвитку громади [3; 8]. Досвід реформи децентралізації в Україні свідчить, що зростання фінансових ресурсів само по собі не гарантує їх ефективного використання: між громадами з порівнянним рівнем доходів виявляються значні відмінності у структурі видатків та результатах розвитку.

Теорія ендогенного зростання привертає увагу до довгострокового мультиплікативного ефекту бюджетних інвестицій у людський капітал та знання. Видатки місцевого бюджету на освіту та охорону здоров'я не є лише поточними витратами — вони формують продуктивний потенціал громади, що через кілька десятиліть визначатиме її конкурентоспроможність. Це робить структуру видатків місцевого бюджету більш важливим індикатором розвитку, ніж просто їх загальний обсяг [2; 7].

Для операціоналізації концепції місцевого бюджету як драйвера розвитку необхідна адекватна система індикаторів, що дозволяє оцінювати не лише поточний стан місцевих фінансів, а й потенціал та динаміку бюджетного розвитку громади. Пропонована методологія базується на чотирьох блоках оцінювання (табл. 2).

Таблиця 2

Система індикаторів оцінювання місцевого бюджету як драйвера розвитку громади

Блок	**Індикатор**	**Одиниця виміру**
Фінансова автономія	Частка власних доходів у доходах місцевого бюджету	%
	Коефіцієнт фінансової залежності від трансфертів	коеф.
	Бюджетні доходи на 1 мешканця	грн/особу
Видаткова спроможність	Видатки на соціальні послуги на 1 мешканця	грн/особу
	Частка капітальних видатків у загальних видатках	%
	Видатки на розвиток інфраструктури на 1 мешканця	грн/особу
Боргова стійкість	Відношення боргу до доходів бюджету	%
	Коефіцієнт покриття боргових зобов'язань	коеф.
Бюджетна ефективність	Виконання плану доходів	%
	Частка освоєних капітальних видатків	%

Джерело: розроблено автором

Запропонована система включає 10 індикаторів, об'єднаних у чотири блоки: фінансова автономія, видаткова спроможність, боргова стійкість та бюджетна ефективність. Вибір саме цих індикаторів обумовлений трьома критеріями: інформаційна доступність (наявність даних у відкритій статистичній звітності), чутливість до змін (здатність відображати динаміку бюджетного розвитку) та міжнародна порівнянність (відповідність показникам, що використовуються у методологіях ОЕСР та ЄС) [7; 8].

Блок фінансової автономії характеризує ступінь незалежності бюджету від централізованих трансфертів. Висока частка власних доходів свідчить про розвиненість місцевої економіки та спроможність громади формувати власну доходну базу — необхідну умову стратегічного бюджетного планування. Критичним є показник коефіцієнта фінансової залежності: якщо він перевищує 0,6, громада фактично втрачає самостійність у визначенні пріоритетів видатків [3]. Показник доходів на одного мешканця є інтегральним індикатором фінансового потенціалу і дозволяє здійснювати порівняльний аналіз між громадами різного розміру.

Блок видаткової спроможності відображає здатність бюджету фінансувати не лише поточні зобов'язання, а й інвестиційні видатки на розвиток. Частка капітальних видатків у загальних видатках є ключовим індикатором інвестиційної активності громади: міжнародні стандарти рекомендують підтримувати цей показник на рівні не нижче 15–20% від загального обсягу видатків [8]. Видатки на соціальні послуги та розвиток інфраструктури на душу населення дозволяють оцінити рівномірність розподілу вигод від бюджетних видатків між мешканцями громади.

Блок боргової стійкості є особливо актуальним в умовах воєнного стану, коли громади активно залучають кошти міжнародної технічної допомоги та кредитні ресурси для відновлення. Перевищення

відношення боргу до доходів понад 100% є сигналом загрози фінансовій стійкості та обмежує можливості для нових запозичень на інвестиційні цілі [7].

Для розрахунку інтегрального індексу бюджетної спроможності громади (ІІБСГ) пропонується метод нормалізації за мін-макс з рівним зважуванням блоків: ІІБСГ = (I_авт + I_вид + I_борг + I_ефект) / 4, де I_авт, I_вид, I_борг, I_ефект — нормалізовані субіндекси відповідних блоків. Значення ІІБСГ у діапазоні 0,75–1,00 відповідає високому рівню бюджетної спроможності; 0,50–0,74 — достатньому; 0,25–0,49 — низькому; 0,00–0,24 — критичному рівню.

Міжнародний досвід оцінювання бюджетної спроможності місцевих органів влади є важливим орієнтиром для розробки вітчизняної методології. ОЕСР у своїй методологічній рамці використовує п'ять ключових вимірів: достатність доходів, гнучкість видатків, збалансованість бюджету, доступ до фінансування та ефективність управління [7]. Рада Європи акцентує увагу на принципі фінансової еквівалентності — відповідності фінансових ресурсів покладеним на громаду повноваженням [8]. У контексті України цей принцип є особливо актуальним: реформа децентралізації передала громадам широкий обсяг повноважень, однак фінансові ресурси для їх реалізації розподілені нерівномірно.

Аналіз підходів до оцінювання бюджетної спроможності громад у країнах ЄС виявляє кілька моделей. Скандинавська модель (Фінляндія, Швеція, Данія) базується на широкій фінансовій автономії та розвиненій системі горизонтального вирівнювання. Центральноєвропейська модель (Польща, Чехія, Словаччина) характеризується більшим ступенем залежності від державних трансфертів при наданні широких повноважень у сфері локальних послуг. Для України найбільш релевантним є досвід Польщі та країн Балтії, де реформи децентралізації відбувалися за схожих інституційних умов та при активній підтримці ЄС [7].

Особливий інтерес для України становить досвід Ізраїлю щодо підтримки місцевих бюджетів в умовах тривалої безпекової кризи. Ізраїльська практика включає: систему автоматичної компенсації бюджетних втрат громад у зонах підвищеного ризику; спрощені процедури перерозподілу бюджетних асигнувань у відповідь на безпекові виклики; обов'язковий мінімальний резервний фонд для всіх місцевих бюджетів у розмірі 3–5% від планових доходів. Адаптація цих механізмів до українських умов може суттєво підвищити фінансову стійкість місцевих бюджетів у середньостроковій перспективі [7; 8].

Застосування запропонованої методології в умовах воєнного стану потребує врахування низки специфічних обставин. По-перше, частина статистичних даних про місцеві бюджети є закритою або публікується з затримкою, що ускладнює оперативне оцінювання. По-друге, стандартні нормативні значення показників, розроблені для мирного часу, потребують перегляду: різке зростання поточних видатків на тлі скорочення капітальних може бути вимушеним заходом, а не ознакою деградації бюджетної спроможності. По-третє, принципово важливим стає врахування позабюджетних ресурсів розвитку громади — грантів міжнародних організацій, коштів програм відновлення, волонтерських надходжень, — що у воєнних умовах нерідко перевищують обсяги власних доходів місцевих бюджетів і фактично виконують функцію драйвера розвитку [6; 8].

Порівняльний аналіз рівня бюджетної спроможності громад різних типів на основі запропонованої системи індикаторів дозволяє сформулювати практичні висновки. Найвищий рівень бюджетної спроможності (ІІБСГ понад 0,6) притаманний великим міським громадам із диверсифікованою економічною базою та значним потенціалом власних доходів. Найнижчий рівень (ІІБСГ нижче 0,25) характерний для сільських громад із вузькою доходною базою та обмеженою управлінською спроможністю — і ця проблема суттєво загострилась в умовах воєнного стану. Найбільший потенціал для підвищення рівня бюджетної спроможності мають громади середнього розміру з наявною інституційною спроможністю та стратегічним баченням розвитку [4; 5; 6].

Проведене дослідження дозволяє зробити такі висновки. По-перше, місцевий бюджет виконує функцію драйвера розвитку територіальної громади через три взаємодоповнюваних канали: інвестиційний, соціальний та інституційний. Реалізація цієї функції потребує принципової зміни логіки бюджетного процесу від реактивного розподілу ресурсів до проактивного стратегічного управління фінансами з орієнтацією на довгостроковий результат. По-друге, концептуальний аналіз виявив п'ять підходів до розуміння ролі місцевого бюджету у розвитку громад, кожен з яких розкриває окремий вимір драйверної функції бюджету і є взаємодоповнюваним. Найбільш комплексною для умов воєнного стану є теорія стійкості, що розглядає місцевий бюджет одночасно як фінансовий буфер у кризових умовах і ресурс відновлення. По-третє, запропонована система з 10 індикаторів, об'єднаних у чотири блоки, та інтегральний індекс бюджетної спроможності громади (ІІБСГ) дозволяють здійснювати комплексне оцінювання та міжгромадські порівняння. По-четверте, застосування методології в умовах воєнного стану потребує коригування нормативних значень показників, врахування позабюджетних ресурсів розвитку та доповнення кількісних індикаторів якісними параметрами стратегічного планування та взаємодії з міжнародними донорами. Перспективами подальших досліджень є апробація запропонованої системи індикаторів на масиві даних місцевих бюджетів різних типів громад України та розробка практичних рекомендацій щодо зміцнення бюджетної спроможності у постконфліктний період.

Список літератури

1. Бюджетний кодекс України від 08.07.2010 № 2456-VI. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-17

2. Пилипенко Я.В. Формування та виконання місцевих бюджетів в умовах війни. Економіка та суспільство. 2023. № 54. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-54-46

3. Канєва Т.В., Карпенко М.Ю. Методологічні засади формування доходної частини місцевих бюджетів за сучасних умов. Економіка та суспільство. 2024. № 59. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-55

4. Ватаманюк-Зелінська У.З., Штундер І.М., Гаврилюк С.О. Тенденції формування та виконання місцевих бюджетів в умовах воєнного стану. Інноваційна економіка. 2022. № 92. С. 61–68.

5. Радіонов Ю.Д. Формування і виконання державного та місцевих бюджетів в умовах воєнного стану. Економіка та суспільство. 2023. № 53. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-53-55

6. Кириленко О.П. Місцеві бюджети в умовах децентралізації фінансових ресурсів. Вісник ТНЕУ. 2021. № 2. С. 18–35.

7. OECD. Fiscal Decentralisation and Inclusive Growth. Paris: OECD Publishing, 2022. 184 p.

8. Council of Europe. Local Government Finance in Times of Crisis. Strasbourg: Council of Europe Publishing, 2023. 96 p.

ЗЕЛЕНА ЕКОНОМІКА РЕГІОНІВ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ: МЕХАНІЗМИ АДАПТАЦІЇ ТА СТРАТЕГІЧНІ ПРІОРИТЕТИ

Зварич О.І.
доктор економічних наук, доцент, професор кафедри менеджменту і маркетингу
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

GREEN ECONOMY OF UKRAINE'S REGIONS IN THE CONTEXT OF EUROPEAN INTEGRATION: ADAPTATION MECHANISMS AND STRATEGIC PRIORITIES

Zvarych O.
Prof., Doctor of Economic Sciences Vasyl Stefanyk Carpathian National University
DOI: 10.5281/zenodo.20152820

Анотація

Досліджено теоретико-методологічні засади та практичні аспекти розвитку зеленої економіки регіонів України в умовах євроінтеграції. Обґрунтовано концептуальну модель зеленої трансформації регіональних економічних систем на засадах Європейського зеленого курсу. Систематизовано нормативно-правові інструменти ЄС у сфері кліматичної та екологічної політики. Здійснено порівняльну оцінку потенціалу зеленої трансформації регіонів за ресурсно-природним, інституційним, фінансово-інвестиційним та інноваційно-технологічним компонентами. Розроблено матрицю адаптаційних механізмів регіональної зеленої економіки до стандартів ЄС. Визначено стратегічні пріоритети зеленого розвитку регіонів в умовах повоєнного відновлення.

Abstract

The article examines the theoretical and practical aspects of green economy development in Ukraine's regions in the context of European integration. A conceptual model of green transformation of regional economic systems based on European Green Deal principles is substantiated. EU regulatory instruments in climate and environmental policy are systematized. A comparative assessment of green transformation potential across resource-natural, institutional, financial-investment, and innovation-technological components is conducted. An adaptation mechanism matrix aligned with EU standards is developed, and strategic priorities for green regional development in post-war recovery conditions are identified.

Ключові слова: зелена економіка, регіональний розвиток, євроінтеграція, Європейський зелений курс, зелена трансформація, механізми адаптації, повоєнне відновлення.

Keywords: green economy, regional development, European integration, European Green Deal, green transformation, adaptation mechanisms, post-war recovery.

Формування зеленої економіки є одним із провідних трендів глобального та регіонального розвитку. Для України, яка здійснює системну євроінтеграцію та водночас переживає наслідки збройної агресії, зелена трансформація регіональних економічних систем набуває подвійної актуальності: з одного боку — це вимога Угоди про асоціацію з ЄС та програм повоєнного відновлення, з іншого — об'єктивна необхідність переходу до сталих моделей господарювання [1].

Україна як держава-кандидат на вступ до ЄС зобов'язана поступово імплементувати екологічне законодавство Євросоюзу, зокрема вимоги Європейського зеленого курсу (European Green Deal, 2019) — стратегічного плану переходу ЄС до кліматичної нейтральності до 2050 р. [10]. Регіональний вимір цих трансформацій залишається недостатньо дослідженим у вітчизняній науковій літературі: більшість публікацій зосереджена на загальнонаціональному рівні, тоді як саме регіони є ключовими суб'єктами впровадження зеленої економіки.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Стаття підготовлена в межах дослідження регіональних механізмів зеленої трансформації економіки України в умовах євроінтеграції та повоєнного відновлення.

Теоретичні засади зеленої економіки систематизовані у доповіді ЮНЕП 2011 р., де зелена економіка визначена як така, що покращує добробут людини, суттєво знижуючи екологічні ризики [14]. Концептуальні засади зеленої економіки в Україні досліджують Зварич Р., Масна О., Рівіліс І. [3], Зінчук Т., Паламарчук Т., Усюк Т. [4], Сич К., Бугайчук В., Грабчук І. [8]. Теоретичний контент зеленої трансформації регіонів в умовах глобалізації розкривають Зінчук Т. та ін. [4]. Євроінтеграційний вимір та вплив Зеленого курсу ЄС на Україну аналізують Кицюк І.В., Науменко Н.С., Присяжнюк В.В. [5], Wolf S. та ін. [15]. Проблеми регіональної політики ЄС та її імплементації для України висвітлюють Сторонянська І., Беновська Л. [9]. Питання зеленої трансформації у повоєнному вимірі досліджують Гайова Д., Бугас Н., Цалко Т. [1], розвиток відновлюваної енергетики в контексті євроінтеграції — Зварич Р., Масна О. [2].

Попри значний науковий доробок, у вітчизняній літературі бракує досліджень, що системно поєднують регіональний і євроінтеграційний виміри зеленої економіки та розробляють конкретні механізми адаптації регіональних систем до стандартів ЄС в умовах повоєнного відновлення.

Мета статті — обґрунтувати теоретико-методологічні засади та розробити механізми адаптації

зеленої економіки регіонів України до стандартів ЄС в умовах євроінтеграції, визначивши стратегічні пріоритети регіонального зеленого розвитку. Методи дослідження: системний аналіз, порівняльний аналіз, стратегічне картування, метод матричного аналізу.

Зелена економіка регіонів є підсистемою зеленої економіки держави, що охоплює сукупність господарських відносин, інституційних механізмів та управлінських практик, спрямованих на забезпечення екологічно збалансованого та ресурсоефективного розвитку регіональних економічних систем. Регіональний вимір зеленої економіки визначається специфікою природно-ресурсного потенціалу регіону, його галузевою структурою та рівнем екологічного навантаження [4].

В контексті євроінтеграції зелена економіка регіонів набуває нового виміру — адаптації до нормативно-правових, технологічних та інституційних стандартів ЄС. Ключовим документом є Європейський зелений курс (European Green Deal, 2019) [10], який визначає стратегічну мету — досягнення кліматичної нейтральності ЄС до 2050 р. Як зазначають Wolf S. та ін., зелений курс є інструментом не лише кліматичної, а й соціально-економічної трансформації, спрямованої на скорочення регіональних диспаритетів [15, с. 99]. Для регіонів держав-кандидатів це означає поступове приведення регіональної політики до відповідних цілей.

Концептуальна модель зеленої трансформації регіональних економічних систем, розроблена автором, базується на трьох рівнях взаємодії: макрорівень (євроінтеграційні вимоги та національна зелена політика), мезорівень (регіональні механізми зеленої трансформації) та мікрорівень (підприємства і домогосподарства як суб'єкти зеленої економіки). Між рівнями функціонують вертикальні та горизонтальні зв'язки, що забезпечують узгодженість зеленої трансформації [3, с. 133].

Важливим концептуальним елементом є принцип «зеленого федералізму» — децентралізованого підходу, за якого регіони отримують достатню автономію у виборі інструментів зеленого розвитку в межах загальнонаціональних та євроінтеграційних рамок. Це відповідає принципу субсидіарності, закріпленому в праві ЄС [6, с. 88].

Нормативно-правова база ЄС у сфері зеленого розвитку формує зовнішнє регуляторне середовище для зеленої трансформації регіонів України. Її можна структурувати за трьома блоками.

Перший блок — стратегічні документи: Європейський зелений курс (2019) [10], Закон ЄС про клімат (2021) [11], Пакет «Fit for 55», REPowerEU (2022) [12]. Ці документи визначають загальну архітектуру зеленої трансформації та цільові показники.

Другий блок — регуляторні інструменти: Система торгівлі викидами ЄС (EU ETS), Механізм вуглецевого коригування на кордоні (CBAM) [13], Таксономія сталих фінансів ЄС, Директива CSRD. Для регіонів України критично важливим є CBAM, що з 2026 р. запровадить фінансові обтяження для імпорту вуглецеємних товарів (сталь, алюміній, добрива, цемент, електроенергія). Як зазначають Рябчин О.М. та ін., в умовах євроінтеграції Україні необхідно заздалегідь формувати механізми ціноутворення на вуглець, щоб мінімізувати регіональні втрати від CBAM [7, с. 68].

Третій блок — інструменти фінансування: Фонд згуртування та структурні фонди ЄС (щонайменше 30% — на кліматичні цілі), Механізм відновлення та стійкості (RRF), Фонд справедливого переходу (JTF) — особливо релевантний для вугільних регіонів України.

Угода про асоціацію Україна–ЄС зобов'язує Україну поступово наближати своє екологічне законодавство до стандартів ЄС. Регіональний вимір цієї імплементації залишається нерівномірним, що підтверджують Сторонянська І., Беновська Л.: регіони Заходу та Центру демонструють вищий рівень відповідності, тоді як промислові регіони Сходу та Півдня мають суттєве відставання [9].

REPowerEU відкриває для регіонів України нові можливості прискорення зеленого переходу в енергетиці [12]. Як показують Зварич Р. та Масна О., адаптація законодавчої бази до вимог ЄС у сфері відновлюваної енергетики сприяє залученню іноземних інвестицій у регіональний енергетичний сектор [2, с. 128].

Для оцінки потенціалу зеленої трансформації регіонів України запропоновано чотирикомпонентну модель, що включає: ресурсно-природний потенціал (РПП), інституційний потенціал (ІП), фінансово-інвестиційний потенціал (ФІП) та інноваційно-технологічний потенціал (ІТП). Зінчук Т. та ін. підкреслюють, що капіталізація ринку зеленої економіки у 2023 р. досягла 6,5 трлн дол., що визначає значний потенціал залучення зелених інвестицій у регіони [4].

Ресурсно-природний потенціал включає відновлювані енергетичні ресурси, водні ресурси, лісовий покрив та екосистемні послуги. Найвищим РПП для зеленої трансформації характеризуються південні регіони (сонячна та вітрова енергетика), Карпатський регіон (гідроенергетика, лісові ресурси) та регіони Центральної України (агровиробничий потенціал). Розвиток відновлюваних джерел енергії стає ключовим вектором зеленої регіональної трансформації [2, с. 130].

Порівняльну характеристику потенціалу зеленої трансформації окремих регіонів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльна оцінка потенціалу зеленої трансформації регіонів України (авторська розробка)

Регіон	РПП	ІП	ФІП	ІТП	Інтегральна оцінка
Вінницька обл.	Високий	Високий	Середній	Середній	Високий
Івано-Франківська обл.	Високий	Середній	Середній	Середній	Серед.-висок.
Львівська обл.	Середній	Високий	Середній	Середній	Серед.-висок.
Одеська обл.	Високий	Середній	Середній	Середній	Серед.-висок.
Полтавська обл.	Середній	Середній	Середній	Середній	Середній
Запорізька обл.*	Високий	Низький	Низький	Низький	Обмежений
Харківська обл.*	Середній	Низький	Низький	Середній	Обмежений

** Оцінка з урахуванням часткової окупації та воєнних руйнувань станом на 2024 р.*

Фінансово-інвестиційний потенціал зеленої трансформації визначається обсягами залучених зелених інвестицій та доступністю зеленого фінансування. Як зазначають Сич К. та ін., зростання кількості зелених облігацій та кліматичних фондів формує нові механізми фінансування регіонального зеленого розвитку в Україні [8].

Інноваційно-технологічний потенціал відображає здатність регіонів впроваджувати зелені технології та рівень «зеленої» цифровізації. Методологічні засади його формування включають аналіз концепцій зеленої економіки [3, с. 137] та механізмів їх практичної реалізації на регіональному рівні.

Механізми адаптації регіональної зеленої економіки до стандартів ЄС — це сукупність інструментів, процедур та інституційних рішень, що забезпечують поступове наближення параметрів регіональної економічної системи до вимог Євросоюзу у сфері зеленого розвитку. Авторська класифікація включає чотири групи механізмів.

1. Регуляторно-інституційні механізми: гармонізація регіонального законодавства з екологічним acquis ЄС, впровадження регіональних реєстрів викидів парникових газів, запровадження місцевих «зелених» стандартів для публічних закупівель. Нова регіональна політика ЄС передбачає активну роль місцевих органів у реалізації кліматичних цілей [9].

2. Фінансово-економічні механізми: створення регіональних «зелених» фондів, запровадження місцевих екологічних зборів, розвиток зеленого кредитування та гарантування, випуск регіональних зелених облігацій (green municipal bonds), залучення коштів ЄС у рамках програм регіонального розвитку. Формування вуглецевого ціноутворення на регіональному рівні є необхідною умовою підготовки до CBAM [7, с. 71].

3. Технологічно-інноваційні механізми: стимулювання впровадження зелених технологій у регіональній промисловості та агросекторі, розвиток регіональних кластерів зеленої енергетики, залучення технологічних партнерів з країн ЄС. Зварич Р. та Масна О. підкреслюють, що інтеграція України до європейських енергетичних ринків відкриває для регіонів нові можливості технологічного оновлення [2, с. 133].

4. Просторово-планувальні механізми: інтеграція принципів зеленої економіки у схеми регіонального просторового планування, розвиток зеленої регіональної інфраструктури, планування «розумних зелених міст» та низьковуглецевих промислових зон [6, с. 105].

Реалізація адаптаційних механізмів передбачає поетапний підхід: перший етап (2024–2026) — діагностика та базове впровадження; другий (2026–2028) — масштабування; третій (2028–2030) — досягнення повної відповідності стандартам ЄС. Матрицю адаптаційних механізмів наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Матриця адаптаційних механізмів зеленої регіональної економіки до стандартів ЄС (авторська розробка)

Компонент ЄС	Сфера адаптації	Механізм	Актори
EU ETS / CBAM [13]	Декарбонізація промисловості	Реєстр викидів, вуглецеве ціноутворення	ОДА, підприємства
Taxonomy + CSRD	Зелені інвестиції	Зелені фонди, облігації	ОДА, банки, бізнес
Renewable Energy Dir. [11]	Відновлювана енергетика	Регіональні енергетичні плани	ОДА, енергокомпанії
Farm to Fork [10]	Агроекологія	Органічні зони, субсидії	ОДА, агровиробники
Circular Economy Plan	Циркулярна економіка	Хаби сортування, пром. симбіоз	ОДА, бізнес, НКО
REPowerEU [12]	Енергетична безпека	Регіональні програми ВДЕ	ОДА, енергосектор

Особливістю адаптаційних механізмів в умовах повоєнного відновлення є принцип «build back greener» — відбудова з одночасним підвищенням зеленої відповідності. Як зазначають Гайова Д. та ін., повоєнна відбудова містить унікальні управлінські можливості для зеленої трансформації, що перетворює відновлення на «вікно можливостей» для регіонального зеленого розвитку [1].

На основі проведеного аналізу визначено п'ять стратегічних пріоритетів зеленої економіки регіонів України в умовах євроінтеграції та повоєнного відновлення.

Перший пріоритет — декарбонізація регіональних промислових кластерів. Ключовими інструментами є запровадження регіонального реєстру викидів та технологічна модернізація підприємств у відповідності до Закону ЄС про клімат [11]. Підготовка до CBAM є безумовним пріоритетом для металургійних та хімічних кластерів [13], адже невиконання вимог щодо вуглецевого ціноутворення суттєво знизить конкурентоспроможність регіональних підприємств на ринку ЄС [7, с. 66].

Другий пріоритет — розгортання регіональної відновлюваної енергетики. Зварич Р. та Масна О. підкреслюють, що адаптація законодавчої бази до вимог Директиви ЄС про відновлювану енергетику та плану REPowerEU відкриває для України нові вікна можливостей для залучення інвестицій у регіональну ВДЕ-генерацію [2, с. 131]. В умовах повоєнної відбудови переорієнтація на відновлювані джерела є не лише екологічною, але й безпековою необхідністю.

Третій пріоритет — циркулярна трансформація регіональних виробничих систем. Перехід від лінійної до циркулярної економіки передбачає розвиток систем сортування та переробки відходів, промисловий симбіоз у рамках регіональних кластерів та зниження матеріалоємності виробництва. Особливо актуальним є управління будівельними відходами повоєнного відновлення [1].

Четвертий пріоритет — розвиток регіональної зеленої інфраструктури. Для України це передбачає формування регіональних екологічних мереж, розвиток зелених урбаністичних просторів та озеленення транспортної та енергетичної інфраструктури. Мельник Л.Г. акцентує, що зелена інфраструктура є ключовим елементом регіонального сестійнового розвитку [6, с. 210].

П'ятий пріоритет — розбудова регіональних інститутів зеленого управління. Ефективна реалізація зеленої трансформації потребує регіональних агентств зеленого розвитку, центрів зеленої економіки при університетах, платформ публічно-приватного партнерства та консультативних рад із зеленої трансформації. Як підтверджують Кицюк І.В. та ін., саме інституційна спроможність є вирішальним фактором використання переваг Зеленого курсу ЄС [5].

Зелена економіка регіонів України в умовах євроінтеграції має подвійний вимір: адаптація до стандартів ЄС і використання повоєнного відновлення як можливості для якісного стрибка у зеленому розвитку. Концептуальна модель зеленої трансформації поєднує макро-, мезо- та мікрорівні на основі принципів субсидіарності та «зеленого федералізму» [3; 15].

Нормативно-правова база ЄС (European Green Deal, EU ETS/CBAM, Таксономія сталих фінансів, CSRD) формує зовнішні вимоги до регіональної зеленої трансформації України, дотримання яких є обов'язковою умовою євроінтеграції та збереження конкурентоспроможності регіональних підприємств [7; 13].

Оцінка потенціалу зеленої трансформації за чотирма компонентами виявила суттєву регіональну диференціацію: найвищий потенціал мають Вінницька, Івано-Франківська та Одеська області, тоді як промислові регіони Сходу та Півдня мають обмежений потенціал внаслідок воєнних руйнувань [1; 4].

Розроблена матриця адаптаційних механізмів охоплює регуляторно-інституційний, фінансово-економічний, технологічно-інноваційний та просторово-планувальний виміри. Поетапна реалізація механізмів (2024–2030) забезпечить поступове наближення регіональних систем до стандартів ЄС [9; 10; 12].

Визначені п'ять стратегічних пріоритетів (декарбонізація промисловості, відновлювана енергетика, циркулярна трансформація, зелена інфраструктура, регіональні інститути зеленого управління) формують стратегічний порядок денний

зеленого регіонального розвитку України на 2024–2030 рр. та мають бути відображені у регіональних стратегіях розвитку [2; 5; 11].

Список літератури

1. Гайова Д., Бугас Н., Цалко Т. Управлінські виклики та можливості зеленої трансформації України після війни. Економіка та суспільство. 2025. № 77. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-77-56

2. Зварич Р., Масна О. Національна політика України щодо ВДЕ: аналіз міжнародних зобов'язань та інтеграція до європейських енергетичних ринків. Вісник Економіки. 2024. Вип. 4. С. 122–136. DOI: https://doi.org/10.35774/visnyk2024.04.122

3. Зварич Р., Масна О., Рівіліс І. Методологічні засади формування концепції зеленої економіки. Вісник Економіки. 2022. № 4. С. 131–144. DOI: https://doi.org/10.35774/visnyk2022.04.131

4. Зінчук Т., Паламарчук Т., Усюк Т. Діалектика розвитку «зеленої економіки» в умовах глобалізації. Економіка та суспільство. 2022. № 44. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-44-86

5. Кицюк І. В., Науменко Н. С., Присяжнюк В. В. Європейський зелений курс: можливості та наслідки для українського бізнесу. Економіка та суспільство. 2023. Вип. 56. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-87

6. Мельник Л. Г. «Зелена» економіка (досвід ЄС і практика України у світлі III і IV промислових революцій): підручник. Суми: ВТД «Університетська книга», 2018. 461 с. ISBN 978-966-680-841-0

7. Рябчин О. М., Новицька Н. В., Хлєбнікова І. В. Концептуальні підходи до удосконалення оподаткування викидів двоокису вуглецю в Україні. Економіка і прогнозування. 2021. № 4. С. 53–73. DOI: https://doi.org/10.15407/eip2021.04.53

8. Сич К., Бугайчук В., Грабчук І. Тенденції та перспективи розвитку зеленої економіки в Україні. Економіка та суспільство. 2021. № 30. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-30-48

9. Сторонянська І., Беновська Л. Нова регіональна політика ЄС: особливості реалізації в контексті сучасних викликів та ризиків. Соціально-економічні проблеми модерної доби України. 2023. № 1(159). DOI: https://doi.org/10.36818/2071-4653-2023-1-1

10. European Commission. The European Green Deal. COM(2019) 640 final. Brussels, 2019. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN

11. European Commission. European Climate Law. Regulation (EU) 2021/1119. Official Journal of the European Union. 2021.

12. European Commission. REPowerEU Plan. COM(2022) 230 final. Brussels, 2022.

13. European Commission. Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM). Regulation (EU) 2023/956. Official Journal of the European Union. 2023.

14. UNEP. Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2011. 626 p.

15. Wolf S., Teitge J., Mielke J., Schütze F., Jaeger C. The European Green Deal — More Than Climate Neutrality. Intereconomics. 2021. Vol. 56. No. 2. Pp. 99–107. DOI: https://doi.org/10.1007/s10272-021-0963-z

VOL 1, No 111 (2026)

Scientific discussion

(Praha, Czech Republic)

ISSN 3041-4245

The journal is registered and published in Czech Republic.

Articles are accepted each month.

Frequency: 12 issues per year.

Format - A4

All articles are reviewed

Free access to the electronic version of journal

- **Chief editor**: Zbyněk Liška
- **Managing editor**: Štěpán Kašpar
- Leoš Vaněk (Prague, Czech Republic)
- Jarmila Procházková (Prague, Czech Republic)
- Hugues Bernard (Vienna, Austria)
- Philip Brinkerhoff (Cologne, Germany)
- Zofia Jakubowska (Warsaw, Poland)
- Łukasz Woźniak (Warsaw, Poland)
- Petr Novikov (Bremen, Germany)
- Daniel Skvortsov (Salzburg, Austria)
- Lyudmila Zhdannikova (Kyiv, Ukraine)

Edition of journal does not carry responsibility for the materials published in a journal.

Sending the article to the editorial the author confirms it’s uniqueness and takes full responsibility for possible consequences for breaking copyright laws

«Scientific discussion»

Editorial board address: Korunní 1151/67, 130 00 Praha 3-Vinohrady

E-mail: info@scientific-discussion.com

Web: www.scientific-discussion.com